T
621.5
ORTc

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

CALCULO DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODELO SECADOR DE CACAO CON AIRE CALENTADO POR ENERGIA SOLAR

TESIS DE GRADO
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

Presentado por

FRANCISCO ORTIZ RUBIRA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.987

A G R A D E C I M I E N T O

Al **Ing. Marco Pazmiño Director de Tesis** y al **Ing. Fernando Martínez** ejecutivo de la compañía de elaborados de cacao **Colcacao**, por su ayuda y colaboración para la realización del presente trabajo.-

D E D I C A T O R I A

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

A MIS PADRES

Ing. Eduardo Orcés

DECANO

Ing. Marco Pazmiño

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Rodolfo Paz

VOCAL

Ing. Eduardo Donoso

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad, y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

Francisco Ortiz Rubira

RESUMEN

En el presente trabajo se construye y se analiza el comportamiento de un modelo experimental secador de cacao con el empleo de energía solar, obtenida mediante un colector dotado de 100 láminas pulidas (especulares) de aluminio de 1200 mm de largo por 60 mm de alto y 1 mm de espesor. Este conjunto va alojado en una caja con cubierta de vidrio de 4 mm de espesor y a través de éste se hizo pasar 504 kg/hr de aire. En la primera parte, se determinaron los requerimientos de aire y energía necesarios para secar el cacao. En base a estos datos se dimensionó el secador y el colector, así como la temperatura de trabajo que fué de 65°C; para lograr una temperatura de trabajo uniforme se incluyó, además, un grupo de resistencias eléctricas, después del colector. En la fase experimental se comprueba que la temperatura escogida inicialmente no dá el resultado adecuado. Se hace, por consiguiente, un segundo período de pruebas aumentando la temperatura a 90°C. Con esta modificación el secador funciona muy bién, lográndose secar 80 kg/hr de cacao con un suministro de energía de 450 kJ/kg de cacao que supera, notablemente, los 1.270 kJ/kg de cacao propuestos originalmente. Sin embargo, con esta variante, lógicamente, la proporción de energía que suministró el sol disminuyó considerablemente en relación a la energía total suministrada. Finalmente, se hace un análisis de factibilidad y económico para la aplicación

práctica del modelo experimental, anotándose las conclusiones y recomendaciones necesarias dado el resultado de la experimentación.

I N D I C E G E N E R A L

Pág.

RESUMEN..... VI

INDICE GENERAL..... VIII

INDICE DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS..... X

INTRODUCCION..... 11

I.- JUSTIFICACION Y FACTIBILIDAD DEL PROYECTO..... 12

1.1 Justificación del proyecto..... 12

1.2 Factibilidad..... 17

II .- CONSIDERACIONES GENERALES..... 19

2.1 Descripción de varios tipos de colectores solares..... 19

2.2 Selección del sistema..... 22

2.3 Estructuración del modelo..... 23

III.- INGENIERIA DEL PROYECTO..... 26

3.1 Análisis de las características del grano 26

3.2 Cálculo de la cantidad de energía requerida en base a las condiciones del grano..... 31

3.3 Determinación de la cantidad de aire necesario para el proceso..... 36

3.4 Diseño y cálculo del colector solar..... 37

3.5 Selección del sistema de calentamiento complementario..... 46

Pág.

3.6 Diseño y cálculo del sistema de ductos.. 47

3.7 Selección de equipos impulsores de aire. 49

3.8 Diseño y cálculo del receptáculo de cacao..... 50

3.9 Diseño y cálculo del equipo adicional necesario..... 57

IV.- MODELO EXPERIMENTAL..... 58

4.1 Consideraciones técnicas en la construcción del modelo experimental..... 58

V.- FASE EXPERIMENTAL..... 73

5.1 Recopilación de datos..... 73

5.2 Evaluación de datos..... 95

VI.- GENERALIZACION..... 106

6.1 Generalización del proyecto para la aplicación industrial..... 106

6.2 Análisis económico..... 112

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 117

APENDICES..... 118

Apéndice A.- Cartas psicrométricas..... 119

Apéndice B.- Datos de heliofanía, radiación solar, condiciones atmosféricas del día y tabla de conversión de unidades..... 123

Apéndice C.- Datos estadísticos sobre exportaciones del Banco Central del Ecuador, período 1.973-1980..... 142

BIBLIOGRAFIA..... 148

I N T R O D U C C I O N

El propósito de la Tesis es el diseñar y construir un secador experimental de cacao con la utilización de energía solar con el fin de presentar una alternativa a los agudos problemas energéticos con el que nos enfrentamos hoy en día a nivel mundial. Aunque, si bién es cierto, en nuestro país, aún, no se experimenta la escasez energética en grado superlativo, es importante el buscar nuevas fuentes de energía para labores básicas e importantes de nuestras actividades. Por lo tanto, se ha considerado que por medio del presente trabajo se contribuye a analizar, científica y técnicamente, la posibilidad del uso de un recurso energético abundante e inagotable como es el sol.

En el transcurso del desarrollo de este tema se establecerá, experimentalmente, el grado de utilidad resultante versus lo propuesto. En cuanto a la metodología y los procedimientos empleados, así como los resultados obtenidos, ya se han explicado brevemente en el resumen que se expone al inicio de la obra.

CAPITULO I

JUSTIFICACION Y FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

1.1 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

El auge petrolero del país, como muchos vaticinaron, se está diluyendo. A pesar de que, indudablemente, el petróleo representa un importantísimo rubro en el marco de las exportaciones, no es suficiente para la economía de la Nación. Además, como todos sabemos, el combustible fósil es un recurso que poco a poco se agota y es irrecuperable. Por lo tanto, estamos en la obligación, desde ya, en buscar nuevas fuentes de energía que en el futuro puedan suplir al petróleo.

Nuestro país ha sido, por tradición, eminentemente agrícola. En los últimos años, aparentemente, se trocarían los productos agrícolas por el petróleo como principal rubro de exportación. Esto sucedió en los primeros años del descubrimiento de los yacimientos petroleros de nuestro Oriente; pero, a medida que han ido pasando los años, hemos podido constatar que el auge petrolero del país está disminuyendo. Así podemos ver que el volúmen de exportaciones desde el año 1.973 es como se indica en la página siguiente.

T A B L A I

VOLUMEN DE EXPORTACIONES EN MILES DE DOLARES - PERIODO 1.973-1.980

Año	Productos Agrícolas (%)*	Petróleo (%)**	Total Exportación
1.973	212.401 (43,6%)	192.111 (39,5%)	486.900
1.974	307.543 (32,6%)	526.687 (54,7%)	1'962.445
1.975	278.497 (31,0%)	516.030 (57,5%)	897.218
1.976	439.711 (39,0%)	567.177 (50,0%)	1'127.331
1.977	542.840 (45,6%)	484.067 (40,9%)	1'191.565
1.978	714.582 (47,8%)	523.309 (35,0%)	1'493.758
1.979	618.028 (36,1%)	798.264 (46,6%)	1'714.054
1.980	592.340 (24,8%)	1'294.216 (54,1%)	2'393.648

(*) En este rubro están incluídos solamente, banano, cacao, café, elaborados de cacao y café soluble.

(**) Exportaciones de petróleo crudo realizadas por venta directa.

13

Al observar la Tabla I podemos ver que durante los primeros años de exportaciones grandes de petróleo, éste logró constituir más del 50% del total de exportaciones del país. Sin embargo, durante los años 1.977 y 1.978 vemos que las exportaciones petroleras no alcanzan ya el 50% del total y, aún más, son superadas por el rubro correspondiente a los productos agrícolas tradicionales. En el transcurso de 1.979 y 1.980 nuevamente hay un incremento del volúmen de exportaciones debido al crudo, no tanto por el aumento de producción en sí, sino, por el inmenso incremento del precio del barril del llamado "oro negro" en el mercado internacional.

Ante esta perspectiva, y considerando que por grandes y fabulosas que sean las reservas petroleras, este producto es un recurso natural **no recuperable.** Es imprescindible que el país comience a buscar nuevas fuentes de energía. Haciendo ésto se puede formar una infraestructura energética tal, que ayude a prolongar las reservas de los combustibles fósiles y, simultáneamente, lograr que el país, o su agricultura e industria se independicen del uso exclusivo de los derivados del petróleo como fuente única de energía.

Ahora bien, como alternativas del uso de otras fuentes de energía podemos citar: la energía

nuclear, la energía hidráulica, la energía eólica, la energía solar, geotérmica, etc. La primera de las mencionadas ha sido muy cuestionada, principalmente, por los problemas de contaminación ambiental que ésta plantea y el peligro que implica trabajar con elementos que en un momento dado pueden generar una energía incontrolable. La energía hidráulica es una gran solución para la generación de fuerza eléctrica, pero naturalmente, está limitada por las condiciones geográficas del medio. En el caso de nuestro país existe una gran disponibilidad de aprovechamiento de este recurso energético y se está trabajando en este campo, como es el caso de la central de Pisayambo, en funcionamiento, y el proyecto, más ambicioso aún, como el de la Cola de San Pablo en Paute. De los otros tipos o fuentes de energía mencionados, se está experimentando y ofrecen grandes ventajas por su disponibilidad casi ilimitada, dependiendo, lógicamente, del lugar geográfico en cuanto al grado de disponibilidad de los mismos.

En lo que se refiere, específicamente, a la energía solar, en nuestro país, por estar ubicado en la zona netamente tropical, hay una abundante disponibilidad de esta fuente de energía. Además, en la actualidad, en el campo del aprovechamiento de la energía solar se han hecho importantísimos avances, principalmente,

en países más desarrollados como son Estados Unidos, Francia, Israel, Japón, Alemania Occidental, etc. Aprovechando la tecnología desarrollada en estos países y aplicando los mismos, mediante el estudio, la investigación y la experimentación en nuestro medio, podemos lograr grandes mejoras en cuanto al aprovechamiento de nuestros recursos energéticos solares.

Anteriormente, se expresó la importancia que la agricultura tiene en nuestro país y, luego, hemos analizado los recursos energéticos de los que disponemos. Pues bién, para la industrialización del cacao es imprescindible el proceso del secado del mismo. En la actualidad y desde mucho tiempo atrás se ha venido utilizando la energía solar para lograr este fin. Sin embargo, se lo había hecho en forma muy rudimentaria y muy poco tecnificada. El método empleado ha sido los famosos "tendales". Estos requieren grandes espacios de terreno y una gran cantidad de mano de obra en condiciones bastante duras. Además, los resultados obtenidos mediante este sistema, naturalmente, no presenta una uniformidad en cuanto al grado de humedad del grano; requisito que es muy importante en la elaboración del producto. Es por esto que considero que el presente proyecto tiene una inmensa importancia para este

tipo de agroindustria en el país. Las ventajas que presenta un secador solar técnicamente diseñado son muchas. Entre estas podemos citar, el ahorro de mano de obra, el mejoramiento notable de los resultados, la rapidez y capacidad de secado, el aprovechamiento de espacio, etc.

Por último, hay que resaltar la importancia que tiene, hoy en día, en esta fase del proceso del secado de estos granos, un alto rendimiento y una buena calidad. En el año 1.973 las exportaciones de cacao en grano ascendieron a US $26'704.000 y en elaborados de cacao US $8'885.000. Estos mismos rubros, por ejemplo, en 1.979 son los siguientes: cacao en grano, US $42'280.000, lo que representa un incremento de casi un 60%; elaborados de cacao, US $234'015.000 que representa un incremento del 2.633,8%. Lo que nos demuestra claramente la enorme importancia que tiene la industrialización de este producto.

1.2 FACTIBILIDAD

Para la realización del presente estudio, disponemos en nuestro medio de la materia prima necesaria, esto es, el cacao. Siendo nuestra ciudad, Guayaquil, el centro más importante del país en cuanto a la elaboración de este producto, es factible obtener los

datos necesarios que determinan las condiciones óptimas del grano que es materia de nuestro estudio. Por otra parte, la calidad del producto es, realmente, excelente.

Además, como en el acápite anterior se mencionó, nuestro país por estar situado en la zona ecuatorial, tiene una muy alta incidencia de radiación solar. Aún en días nublados la energía proveniente del sol que llega hasta nosotros es muy elevada. En la actualidad ya existen una buena cantidad de datos recopilados en cuanto a la cantidad de insolación que recibe nuestro territorio, principalmente, en la zona Litoral que es donde se realizará el presente proyecto.

Con la consecución de estos datos es posible la realización de los estudios que nos llevarán a la materialización del modelo experimental, en el que se podrán obtener los resultados que serán analizados posteriormente.

CAPITULO II

CONSIDERACIONES GENERALES

2.1 DESCRIPCION DE VARIOS TIPOS DE COLECTORES SOLARES

Actualmente, se están desarrollando muchos trabajos en el campo de la energía solar, como ya habíamos mencionado anteriormente. La conveniencia de la utilización de este extraordinario recurso energético ha hecho posible o ha incentivado la investigación, preferentemente, en las universidades y medios científicos, de las diversas formas de aplicación práctica de dicho recurso. Una de las aplicaciones de mayor difusión ha sido, precisamente, la de los secadores solares y, específicamente, los secadores solares para productos agrícolas. Como clasificación general podríamos decir que hay dos tipos principales de secadores: los de exposición directa y los no expuestos directamente a la radiación solar. Entre los primeros se encuentra el tan conocido "tendal", utilizado desde hace muchos siglos por el hombre y que aún se usa hoy en día. En sitios en los que el clima no es tropical se han usado, también, secadores tipo "invernadero", para citar otro ejemplo de los secadores de exposición directa.

Ahora bien, los secadores no expuestos directamente

a la luz solar, son los que hoy en día están siendo objeto de estudio e investigación para lograr mejoras y eficiencia óptima en los mismos. Estos utilizan colectores solares que son los que reciben la energía proveniente del sol, la recogen o colectan y, luego, la transmiten mediante un fluído, por lo general el aire, que actúa como agente deshumidificador, al producto a secarse.

Naturalmente, puede haber, como de hecho hay, muchos diseños de secadores solares en los que se combinan los dos tipos anteriormente tratados. Esto se hace, especialmente, en aquellos secadores que trabajan a temperaturas relativamente bajas y en los que, por ende, el aislamiento en el punto en que se encuentra el producto a secarse no requiere de mayores exigencias. En otras palabras, la temperatura dentro del secador en sí no será mayor que la que el sol podría lograr sin el colector solar, pero, al utilizar éste se optimiza el sistema al permitir mayor volúmen del medio deshumidificante acelerando, así, el proceso de secado.

Dentro de los tipos de secadores en los que se usan colectores solares, podemos diferenciar o clasificar a los mismos según el tipo de colector

solar que se emplea. Hay, básicamente, tres tipos de colectores solares y a continuación serán descritos.

2.1.1 COLECTORES SOLARES DE PLACAS PLANAS

Estos colectores funcionan mediante la exposición a los rayos solares de placas planas que absorben la energía radiante del sol, pero, no la concentran. Dentro de este tipo de colectores solares hay una gran variedad de diseños dependiendo de la posición, número y distribución de las placas, así como también, de los tratamientos superficiales de las mismas.

2.1.2 COLECTORES SOLARES DE MEDIANA CAPACIDAD DE CONCENTRACION

Estos colectores utilizan superficies ligeramente curvas para, así, concentrar los rayos solares en un intercambiador de calor que puede ser una tubería o inclusive un colector solar de placas planas. Mediante este diseño se logra obtener mayores temperaturas que en los primeros mencionados.

2.1.3 COLECTORES SOLARES DE GRAN CAPACIDAD DE CONCENTRACION

Por último tenemos los colectores de gran capacidad de concentración de la radiación solar. Estos usan grandes superficies curvas o concentradores compuestos por múltiples espejos que apuntan hacia un punto en común logrando, así, muy altas temperaturas.

Hay que anotar que este tipo de colector solar, en realidad, es pocas veces empleado en secadores solares, teniendo un mayor campo de aplicación en generadores de vapor o en general cuando se requieren muy altas temperaturas.

2.2 SELECCION DEL SISTEMA

El propósito de este trabajo o proyecto es lograr obtener un óptimo secado del grano de cacao. Ahora bién, según los tipos de secadores solares que han sido analizados en el punto anterior, tenemos que el que más se ajusta a nuestras necesidades es un secador que utilice colectores solares planos o de mediana capacidad de concentración, ya que el rango de temperaturas en los que se va a trabajar son relativamente bajos.

En el tratamiento o secado del grano de cacao es importante no sobrepasar los 80 °C porque si se

sobrepasa dicho nivel de temperatura, el producto se verá afectado en su sabor; o sea que se estaría realizando un proceso de "tostado" y no solo de secado. Por este motivo es que es imperioso el utilizar colectores solares de niveles bajos de temperatura.

2.3 ESTRUCTURACION DEL MODELO

Es necesario para un correcto desenvolvimiento del problema, estructurar tanto el modelo matemático que nos va a dar las pautas para su solución, así como el modelo experimental que nos dará la respuesta real y definitiva del sistema propuesto.

Ahora bién, el modelo matemático para cada una de las situaciones que se nos van a ir presentando será estructurado en el capítulo siguiente, esto es, en la ingeniería del proyecto. Para esto se establecerán o definirán los problemas que habrá que resolver y en base a ellos se irán estructurando los respectivos modelos matemáticos.

El modelo experimental tendrá, básicamente, los elementos que se pueden observar en el esquema de la figura # 1.

MODELO EXPERIMENTAL

FIGURA # 1

En base a este modelo estructurado en este párrafo desarrollaremos el presente proyecto. En el capítulo correspondiente a la Ingeniería del Proyecto se determinarán los diferentes elementos que componen el modelo experimental y previo a su diseño y selección se procederá a la construcción de los mismos.

CAPITULO III

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DEL GRANO

El cacao es una fruta tropical originaria de América. Los aborígenes americanos hacían con él una bebida muy aromática y amarga. También, preparaban una pasta agregándole agua, harina de maiz y posiblemente miel; esto dió origen al chocolate, ya que este producto lo hacían los aztecas en lo que hoy es México y se llamaba "chocolat" que significa en lengua aborigen "agua de cacao". Los españoles llevaron este producto a Europa donde tuvo una inmensa acogida, por su agradable sabor y su enorme contenido nutritivo y energético. Durante los siglos XVI y XVII se instalaron las primeras fábricas de este producto en Europa, en Florencia y luego, en Francia durante el reinado de Luis XIII. Posteriormente, se instalaron plantas para elaborar chocolate en toda Europa, y hoy en día es un producto codiciado en el mundo entero. De ahí la enorme importancia que tiene el mantener la producción de su materia prima básica, el cacao, en los más altos niveles.

El proceso para la obtención del grano, a grandes

rasgos, es como sigue: el cacao es cosechado de la mata cuando las mazorcas están maduras. Las mazorcas son dejadas en reposo por un período de 24 horas con el fin de que la fruta sea homogénea. Luego, se abren las mazorcas y se recogen las habas junto con la pulpa y se las coloca en cajones de madera de 40 x 40 x 40 cm. Aquí se mide la temperatura de la masa en los cajones; ésta debe aumentar hasta llegar a los 45°C, aproximadamente, debido al proceso de germinación. Esta temperatura se alcanza en 6 o 24 horas, dependiendo del grado de madurez en que fué cosechada la fruta. Luego, cada 36 horas, es necesario cambiar la masa de un cajón a otro, de modo que haya uniformidad en el proceso. En este punto, la humedad se estima en un 60%. Se continúa, entonces, con las mediciones periódicas de temperatura, ya que la temperatura máxima alcanzada se mantiene. Cuando se registre un descenso de la misma, significa que la germinación ha finalizado. Para entonces habrán transcurrido de 3 a 5 días y la humedad se estima en un 30% o más.

Inmediatemente, se procederá a un secado, en la hacienda aún, para poder ser despachado a las industrias elaboradoras de cacao o a las compañías exportadoras.

Ahora bién, para la industrialización del cacao para la exportación, el grano debe reunir ciertas características para su buen aprovechamiento. Entre éstas destaca su contenido de humedad que es el punto a tratarse en el presente trabajo. La humedad del cacao viene dada porcentualmente relacionando el peso del grano con su contenido de agua con el peso del grano excento de agua. Expresado matemáticamente sería:

$$H_c = (W_h - W_s)/W_h \times 100$$

donde H_c = contenido de humedad porcentual

W_h = peso del cacao húmedo

W_s = peso del cacao seco

La humedad requerida para la industrialización del grano, según normas adoptadas por la Asociación Ecuatoriana de Industriales del Cacao (ASEICA), es del 8% al 7,5%. Normalmente, el cacao llega hasta las industrias con un 11% de humedad, aunque, hay casos en que se han registrado lotes de cacao, en haciendas, hasta con un 22% de humedad. La importancia de lograr este nivel de humedad estriba en que en este punto no hay tantas facilidades para la creación de micro vegetales y por otro lado la humedad existente es suficiente para poder

conservar el grano en buen estado e íntegro; ya que con una humedad por debajo del 7%, el grano se vuelve muy frágil y fácilmente se quiebra. Es importante mantener el grano íntegro porque de otra manera se hace muy vulnerable al ataque de los insectos. En general, hablando de los problemas a que está expuesto el grano de cacao en cuanto a ataques de organismos vivos podemos clasificarlos como sigue:

a) **Ataque de insectos.-** El cacao es un excelente medio para la proliferación de éstos. Por lo tanto, es imprescindible que el grano antes de ser almacenado sea tratado con insecticidas. Normalmente, se utilizan gases o insecticidas líquidos. Los primeros son muy eficaces pero conllevan ciertos peligros para el personal que debe aplicarlos. Incluso, hay algunos gases que son incoloros e inodoros, por lo que, como es lógico suponer, deberán tomarse muchas precauciones para ser aplicados, aunque, la mayoría tienen olor para poder ser detectados por el personal. La forma de presentación puede ser en bombonas de gas o en forma de pastillas que al contacto con el aire se sublimizan. Estas dejan, sin embargo, un polvo que es inofensivo y sale muy fácilmente usando

ventiladores.

En lo que se refiere a los insecticidas líquidos, normalmente, son aplicados en soluciones con agentes disolventes muy volátiles como el alcohol o el éter. Además, son biodegradables para que no presenten luego problemas de contaminación.

b) **Ataque por bacterias.-** Las bacterias afectan, también, al grano de cacao. Por lo general, gran parte de éstas son eliminadas con los insecticidas, especialmente, los gaseosos. Ahora bién, hay bacterias que mueren con la temperatura: unas no resisten temperaturas de más de 60 °C, o sea, que mueren en el secador. Otras son resistentes a temperaturas de hasta 120°C, y éstas mueren en el proceso de tostado. Por último, hay bacterias termo-resistentes que son eliminadas con una pasteurización ya en el proceso del elaborado de cacao.

b) **Ataque por micro-vegetales.-** Este tipo de organismos, o sea, los micro-vegetales destruyen muy rápidamente el cacao. Para combatirlos lo más eficiente es la adecuada humedad del cacao, esto es, 7,5% a 8% de humedad. Si el contenido

de humedad es mayor que éste, es seguro que empezará a crecer moho y otros micro-vegetales de esta naturaleza.

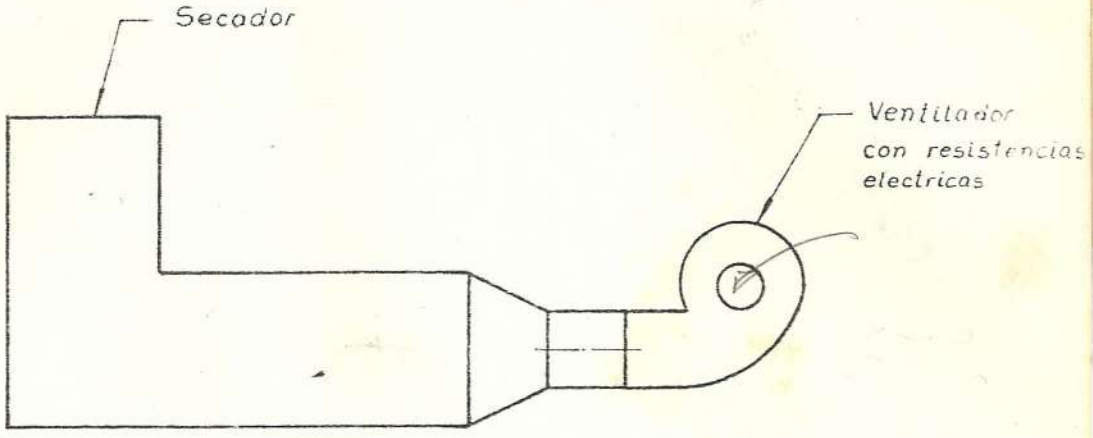
En resúmen podemos decir que para obtener un buen producto es preciso cuidar la producción desde su origen, como organismo viviente que es, hasta su incio en el proceso de industrialización que podemos decir que comienza con el proceso de secado del grano. Es de este punto que vamos a tratar y como se vió tiene una gran importancia para el éxito y la aceptación en los mercados internacionales de los elaborados de cacao.

3.2 CALCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGIA REQUERIDA PARA EL SECADOR EN BASE A LAS CONDICIONES DEL GRANO

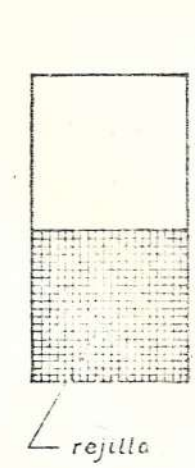
Para poder determinar la cantidad de energía requerida para secar el cacao desde una humedad inicial dada, hasta el contenido de humedad establecido como norma, o sea, aproximadamente, 7%, se procedió a hacerlo de una manera experimental. Para esto se hizo lo siguiente:

Se construyó un mini-secador capaz de contener 1 kg de cacao según consta en el diseño de la fig. 2 en la pág. 32. A éste se le adaptó un ventilador con

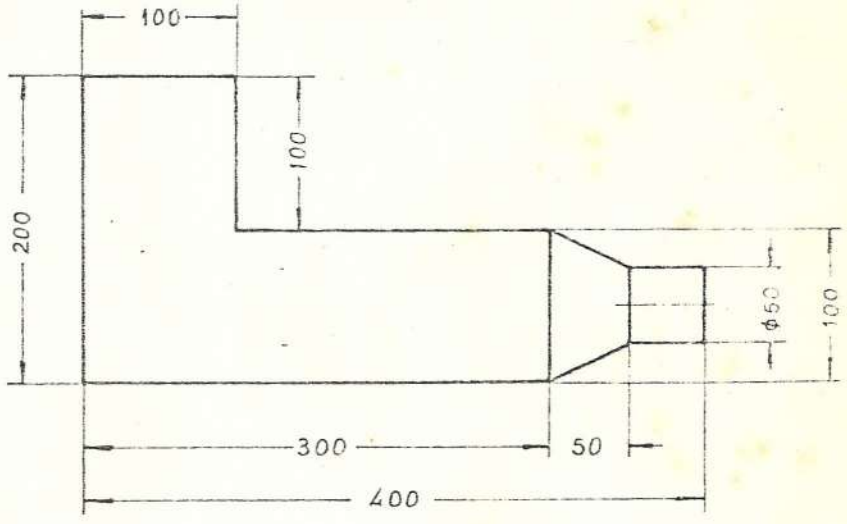
FIGURA # 2

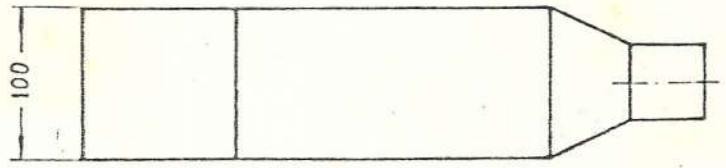


DETALLE DEL SECADOR



Corte: A-A'





Escala: 1:5
Cotas: m.m.

Fecha: 81-01-17

resistencias eléctricas que suministra 33 m^3/hr de aire a una temperatura de 65°C.

Por lo tanto, tenemos,

$$Q_a = 33\ m^3/hr\ (65°C)$$

La densidad del aire a 65°C es de,

$$\rho_a = \frac{p}{RT} = \frac{10.356,8\ kg/m^2}{(29,187\ kg\text{-}m/kg\text{-}°K)(338,15°K)} = 1,05\ kg/m^3$$

El flujo de masa de aire será de,

$$\dot{m}_a = (33\ m^3/hr)(1,05\ kg/m^3) = 34,63\ kg/hr$$

Ahora bien, según la carta psicrométrica (Apéndice A) para el aire a una temperatura de 65°C de bulbo seco y 40°C de bulbo húmedo, corresponde una entalpía de $h_2 = 151,21\ kJ/kg$ y la humedad relativa es de un 25%.

Usando la misma carta y considerando que las condiciones del aire ambiente en el momento de la experimentación era de 30°C de temperatura de bulbo seco y 25°C de bulbo húmedo, encontramos que corresponde a una entalpía de $h_1 = 95\ kJ/kg$ de aire seco y una humedad relativa de 67%.

Por lo tanto, por diferencia de entalpías establecemos que la cantidad de energía absorbida por el aire es de,

$$q_a = h_2 - h_1 = 151,21 - 95 = 56,21 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Ahora bién, la experimentación se realizó del siguiente modo:

1.- Se encendió el sistema secador.

2.- Se introdujo 1,02 kg de cacao con una humedad del 12%. La humedad de esta muestra se midió mediante el sistema aceptado internacionalmente como norma: estos es, se toma una muestra de, aproximadamente, 100 g y es pesada; luego, se introduce la muestra en un horno por un lapso de cinco horas a 105 °C. Después de estar sometido el grano a esta temperatura y tiempo, el cacao estará totalmente excento de humedad. Entonces, se pesa la muestra seca y se la relaciona con la muestra húmeda como se explicó anteriormente, obteniendo, así, la humedad correspondiente.

3.- Al cabo de lapsos que eran incrementados en 5 minutos cada uno, habiéndose iniciado con un

lapso de 10 minutos, se repetía el proceso para determinar la humedad, hasta que, finalmente, se estableció que al cabo de 40 minutos se había obtenido una humedad del 7%.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Prueba	Tiempo	Humedad inicial	Humedad Final
1	10 min	11,9 %	11,2 %
2	15 "	11,9 %	10,8 %
3	20 "	11,9 %	10,0 %
4	25 "	11,9%	9,1 %
5	30 "	11,9 %	8,1 %
6	35 "	11,9 %	7,4 %
7	40 "	11,9 %	6,9 %
8	45 "	11,9 %	6,7 %

Entonces, tomamos como dato para cálculo la medición # 7. La prueba fué repetida dando variaciones en los resultados que fluctuaban en 0,2% con respecto a la presentada, por lo que ésta es, en realidad, un promedio de las mismas.

Ahora bien, si consideramos que tomó 40 minutos el secar 1,02 kg de cacao, entonces, tenemos que la cantidad de aire fué de,

$$m_a = (34,63 \text{ kg/hr})(40 \text{ min})(1 \text{ hr}/60\text{min}) = 23,09 \text{ kg de aire}$$

y la energía utilizada, sabiendo que necesitamos 56,21 kJ/kg de aire, será de,

$$E_a = (56,21 \text{ kJ/kg})(23,09 \text{ kg}) = 1.297,89 \text{ kJ}$$

Sabiendo que lo que se secó fueron 1,02 kg de cacao, entonces, la cantidad de energía necesaria por cantidad de cacao es de,

$$q_c = (1.297,89 \text{ kJ})/(1,02 \text{ kg}) = 1.272,44 \text{ kJ/kg de cacao}$$

3.3 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE NECESARIA PARA EL PROCESO

Con el fin de poder elegir la capacidad del ventilador es necesario saber la cantidad de aire que se utilizará en el proceso. Basándonos en los cálculos anteriores es sencillo determinarlo. Si asumimos las mismas condiciones en que se realizaron las pruebas, tenemos que la diferencia de entalpías es de 56,21 kJ/kg de aire seco, y que necesitamos 1.272,44 kJ/kg de cacao, por lo tanto, tendremos que la cantidad de aire necesario por kg de cacao será de,

$$\frac{m_a}{m_c} = \frac{1.272,44 \text{ kJ/kg cacao}}{56,21 \text{ kJ/kg aire seco}} = 22,64 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg cacao}}$$

3.4 DISEÑO Y CALCULO DEL COLECTOR SOLAR

3.4.1 GENERALIDADES

La recolección de energía solar por medio de colectores solares planos ha sido ampliamente estudiada y numerosos diseños se han realizado al respecto. Estos colectores tienen gran aplicación en el calentamiento de aire, agua u otro tipo de fluído cuando se requieren incrementos relativamente pequeños de temperatura. La mayoría de los colectores solares de este tipo se han construido con materiales difusos. Sin embargo, el presente colector se ha diseñado con superficies reflectivas especulares basándose en estudios hechos por V. D. Bevill y H. Brandt de universidades de California, Estados Unidos (tomado del artículo "A solar energy collector for heating air", Solar Energy magaz., Vol. 12 págs. 19-29). Se resolvió, aplicar este tipo de colector debido a su gran eficiencia y sencillez de construcción.

3.4.2 DESCRIPCION

El colector consta, básicamente, de una superficie plana especular de aluminio que hace de fondo, de 1.200 mm x 600 mm. A su vez, este fondo va atravesado por 100 láminas de 1.200 mm de longitud,

120000

por 60 mm de alto y 1 mm de espesor, puestas perpendicularmente al mismo y espaciadas 6 mm una de otra paralelamente.

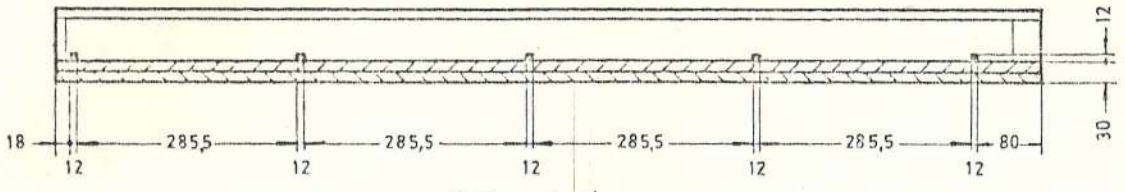
El aire pasará a través de las aletas o láminas de aluminio recogiendo, así, la energía acumulada en éstas. Sobre las láminas de aluminio se coloca un vidrio de 4 mm de espesor. Todo el colector va en una caja de madera con una capa de aislante consistente en polietileno expandido de 1 cm de espesor. El aire es alimentado por un extremo y descargado por el opuesto, en sentido longitudinal, como se puede apreciar en la figura 3 de la página siguiente.

Se resolvió dimensionar el colector al tamaño mínimo suficiente para poder determinar la eficiencia dentro de una tolerancia de 5% de error.

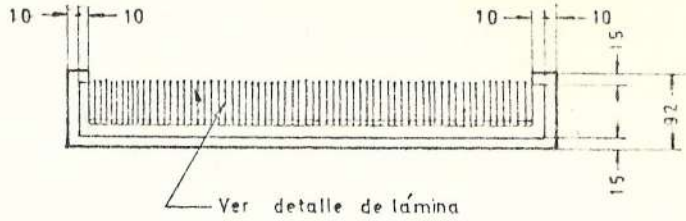
3.4.3 ANALISIS DEL COLECTOR

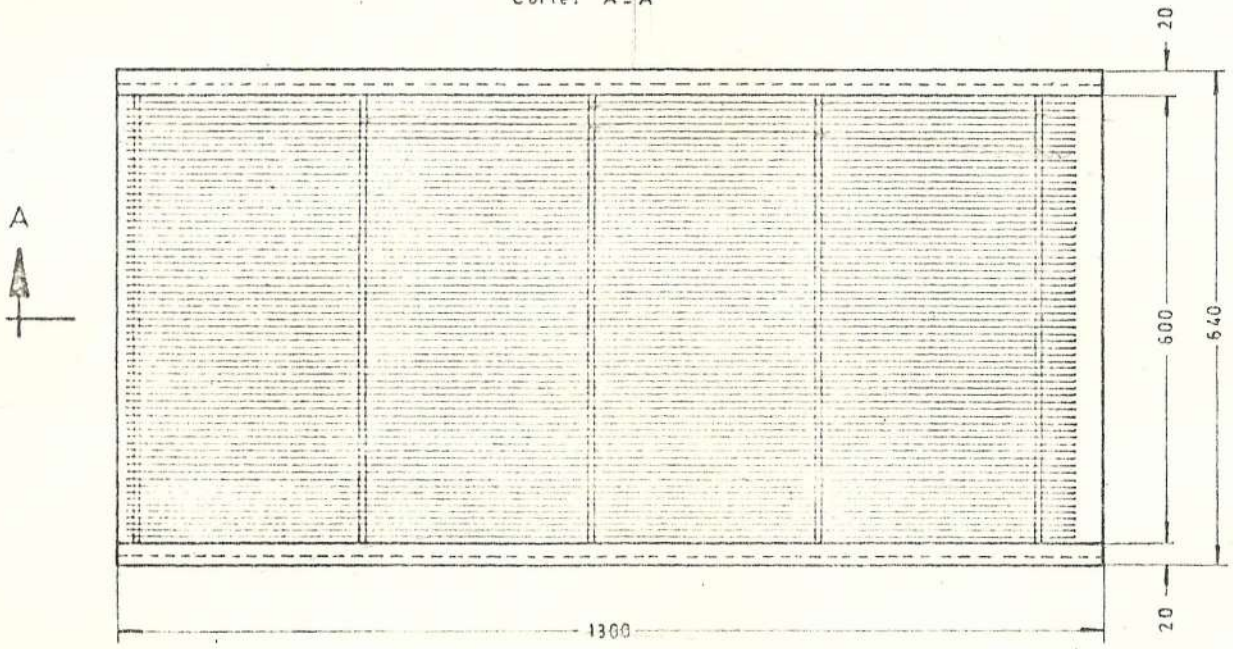
La primera consideración que hay que tomar en cuenta es el cálculo de la absortividad del grupo de láminas paralelas. En este análisis, basado en el artículo de V. D. Bevill y H. Brandt, las láminas se asumen infinitamente largas y los efectos de los extremos son acumulados. La relación

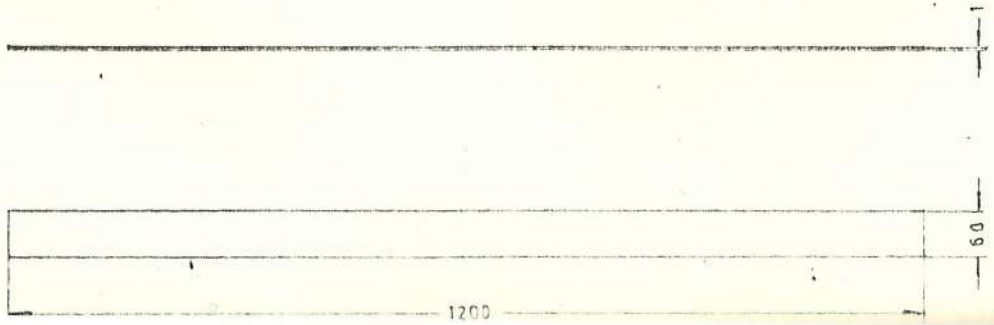
FIGURA # 3 - DISEÑO DEL COLECTOR

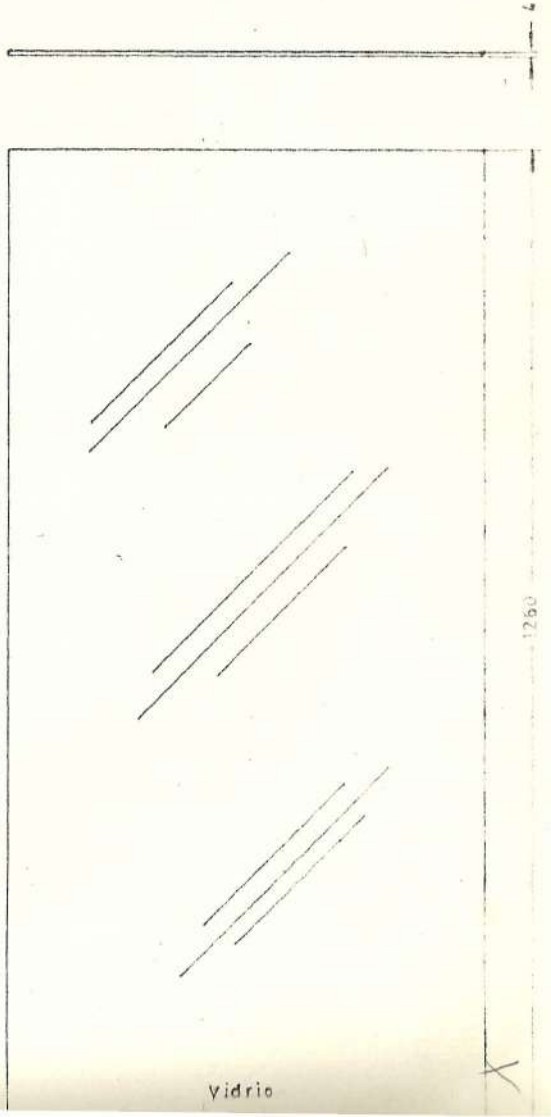


Corte: A - A'









entre la longitud de éstas y el espacio entre una y otra es de 200 a 1, por lo que el supuesto planteado se justifica. En la figura 4 de la página siguiente se puede apreciar la reflexión típica de un haz de radiación solar entre dos láminas de alto "L" y espaciadas con una distancia "a", con un ángulo de incidencia "θ" con respecto a la vertical paralela a la dimensión "L". El número de reflexiones "n" de una radiación incidente para este caso es:

$$n = 1 + (2L/a)\tan\theta$$

Por lo tanto, cuando el ángulo de incidencia "θ" es cero, el número de reflexiones se reduce a una, que será la del fondo del colector; esto sucederá cuando el sol esté directamente encima del colector, habiendo colocado éste con su eje longitudinal en sentido Norte-Sur. Por otro lado, cuando el ángulo "θ" sea de 90°, el número de reflexiones crecerá hasta el infinito; en este caso el sol se hallaría totalmente en el horizonte.

La absortividad total "α" de un grupo de láminas especulares pueden ser calculadas considerando las reflexiones monocromáticas de la radiación solar y sumando luego el resultado de la absortividad

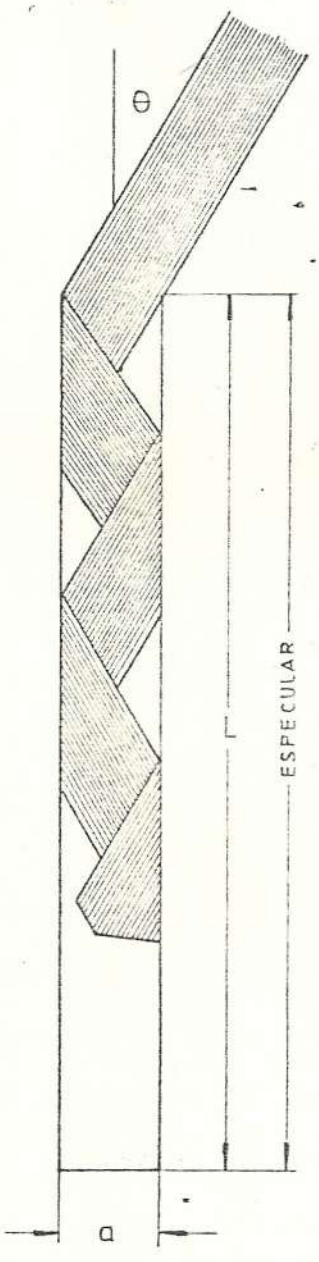


FIGURA # 4 - Reflexión típica de un haz de radiación solar entre dos láminas especulares.

monocromática "α_λ" sobre el espectro de todas las longitudes de onda. En otras palabras, si se analiza un cuerpo absorbente sin una placa recubridora, la absortividad de dicho cuerpo sería,

$$\alpha = 1 - \frac{\sum_{\lambda=0}^{\infty} \rho_\lambda^{\overrightarrow{n}} G_\lambda}{\sum_{\lambda=0}^{\infty} G_\lambda}$$

donde,

α = absortividad del cuerpo absorbente

ρ_λ = reflectividad monocromática de las láminas de aluminio

λ = longitud de onda

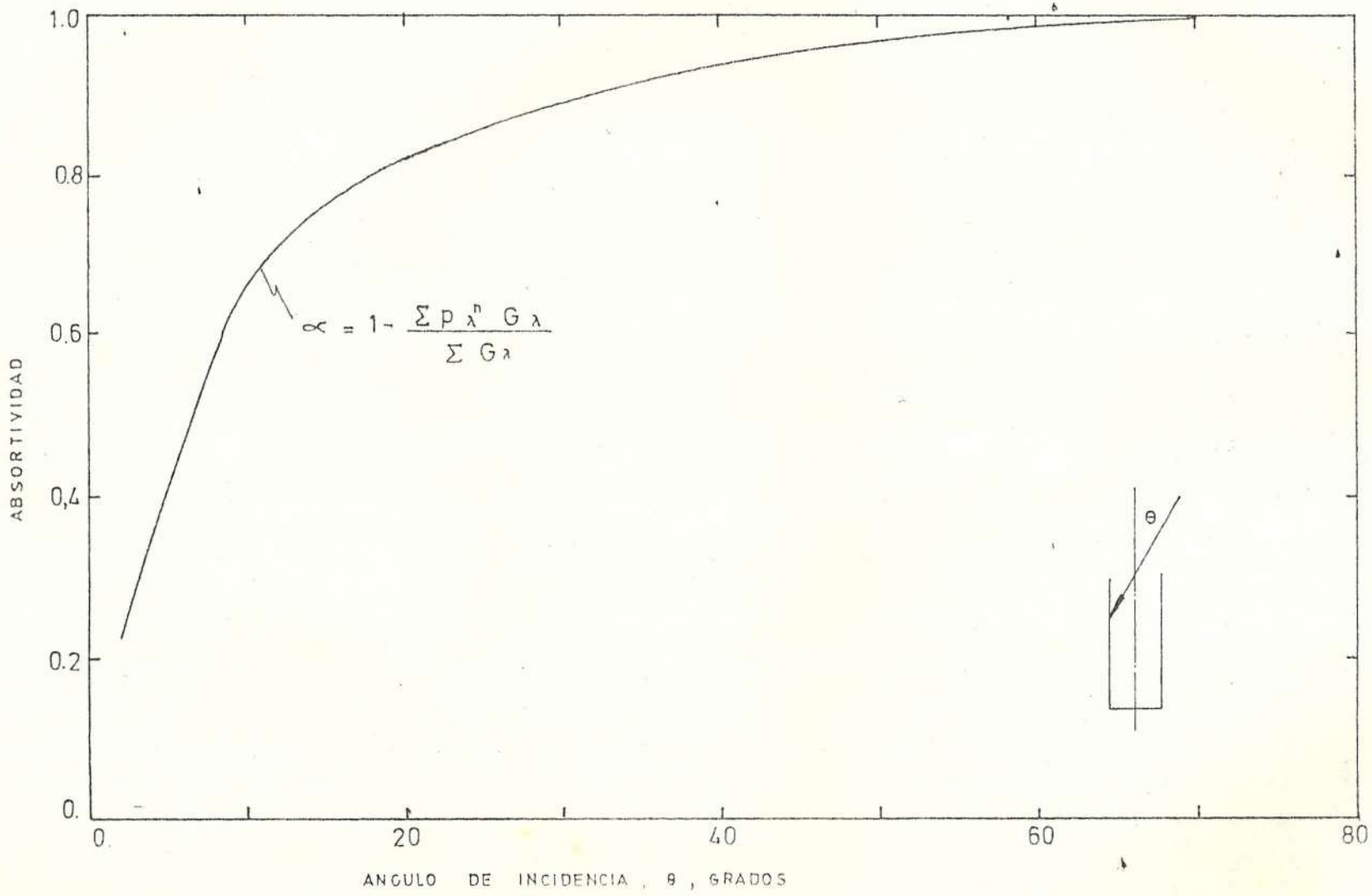
G_λ = energía monocromática de la radiación incidente

n = número de reflexiones

Sustituyendo unos pocos valores típicos para la reflectividad en la ecuación anterior nos demuestra que las absortividades más altas se obtienen con ángulos de incidencia de la radiación solar mayores de 20°, debido a la influencia del factor "n".

De acuerdo a esta ecuación se llegó a la gráfica de la figura 5 de la siguiente página.

FIGURA # 5 - Gráfico de la absortividad para placas paralelas especulares



Tomado del artículo "A solar energy collector for heating air" de V. D. Bevill y H. Brandt, Solar Energy magaz., Vol. 12, págs. 19-29.

Ahora bién, la eficiencia puede ser expresada o interpretada de la forma siguiente: considerando el calor transmitido al aire o absorbido por éste al pasar por el colector y relacionándolo con la energía solar incidente. De acuerdo a este criterio se obtuvieron las eficiencias que se observan en la figura 6, tomado del artículo de V. D. Bevill y H. Brandt, en el que el colector tenía 610 mm x 610 mm y constaba de 96 láminas de aluminio de 63,5 mm de alto "L" y espaciadas entre sí una distancia "a" de 6,35 mm.

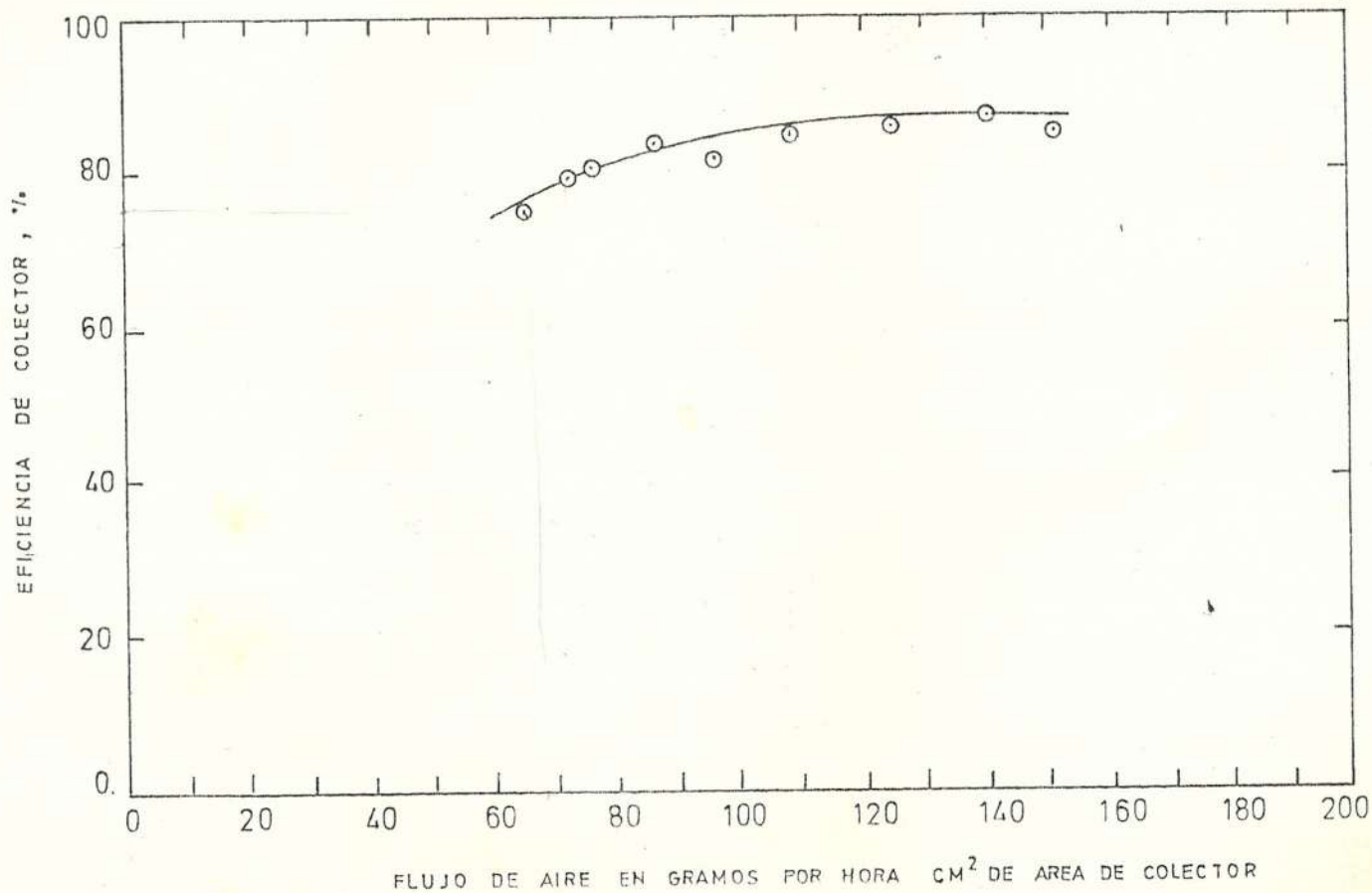
Como se puede apreciar la eficiencia de este tipo de colector es bastante elevada ya que aprovecha, grandemente, aún los momentos en que el sol está bastante inclinado absorbiendo una considerable cantidad de energía.

En el capítulo V se analizarán los datos obtenidos con el diseño presente.

3.4.4 RENDIMIENTO

De acuerdo a la experiencia obtenida en los diseños previos de este tipo de colector solar, la cantidad de aire utilizada ha sido de 65 a 150 g/hr-cm² de área del colector. Tomando en cuenta estos datos y

FIGURA # 6 - Eficiencia del' colector - Tomado del artículo "A solar energy collector for heating air" de V. D. Bevill y H. Brandt, Solar energy magaz., Vol 12, págs. 19-29.



las eficiencias obtenidas, según se vió en el párrafo anterior, se resolvió trabajar con una cantidad de aire de 70 g/hr-cm² ya que se pretende alcanzar la máxima temperatura posible. Entonces, de acuerdo al diseño del colector a usarse será de,

$$\dot{m}_a = (70\ g/hr\text{-}cm^2)(7.200\ cm^2) = 504.000\ g/hr$$

o lo que es lo mismo,

$$\dot{m}_a = 504\ kg/hr$$

3.5 SELECCION DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO COMPLEMENTARIO

Tomando en consideración que necesitamos pasar un caudal de aire de 504 kg/hr y éste deberá ser calentado de 30°C a 65°C, en casos límites, cuando la eficiencia del colector por condiciones atmosféricas adversas sea casi nula, entonces, tenemos que la energía requerida, según se pudo establecer en el acápite 3.2 es de,

$$q_a = 56,21\ kJ/kg$$

si tenemos que,

$$\dot{m}_a = 504\ kg/hr$$

entonces,

$$E = (56,21 \text{ kJ/kg})(504 \text{ kg/hr}) = 28.329,84 \text{ kJ/hr}$$

Con este dato podemos establecer que para este requerimiento de energía es necesario una resistencia eléctrica de 8 kW ya que,

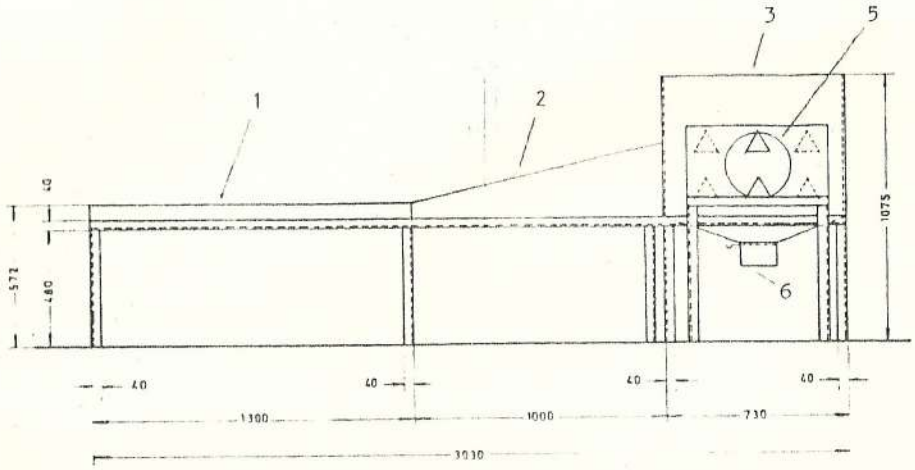
$$(28.329,84 \text{ kJ/hr})(1 \text{ hr}/3.600 \text{ seg}) = 7,87 \text{ kJ/seg} = 7,87 \text{ kW}$$

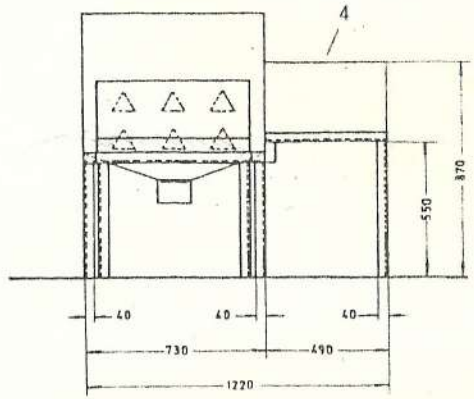
Por lo tanto, se usará como sistema de calentamiento complementario, un banco de resistencias eléctricas con las características siguientes: 5 resistencias "Chromalox" modelo OTF-24-240V-1.800 Watts, que nos dá un total de 9 kW.

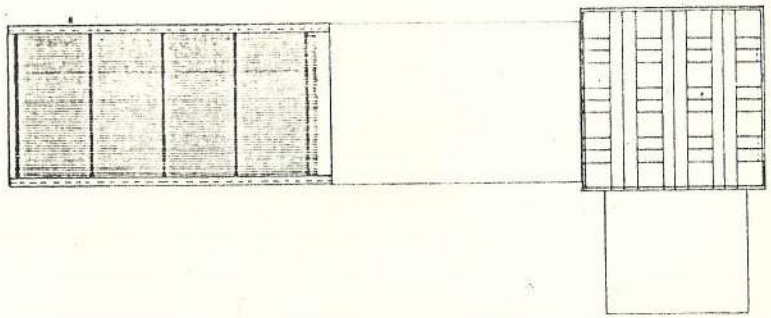
3.6 DISEÑO Y CALCULO DEL SISTEMA DE DUCTOS

Con el propósito de mantener una velocidad uniforme dentro del ducto en relación a la velocidad del aire en el colector, el ducto de salida tendrá las mismas dimensiones que éste inicialmente. Luego, habrá una expansión para dar cabida al banco de resistencias y poder acoplarlo a la entrada de aire del receptáculo secador de cacao, como puede verse en la figura 7 de la página siguiente. Entonces, tenemos que la velocidad del aire en el ducto será,

FIGURA # 7 - Diseño del secador







Esc. 1:20

Cotas : m.m

1.- Colector

2.- Ducto de entrada

3.- Receptáculo

4.- Plenum de salida

5.- Boquete para extractor con compuerta

6.- Tolva de salida con compuerta

$V = \dot{m}_a/(\rho_a A) = (504\ kg/hr)/(1,03\ kg/m^3)(0,036\ m^2)$

$V = 3,78\ m/seg$

$V = 226,8\ m/min$

donde,

$\dot{m}_a$ = flujo de masa de aire.

ρ_a = densidad del aire a las condiciones de entrada.

A = el área de la sección del ducto a la entrada.

Por lo tanto, vemos que la velocidad resultante está dentro de las velocidades recomendadas para este tipo de secador.

A la salida del receptáculo se ha previsto un plenum donde va instalado el ventilador extractor que, además, llevará una compuerta para poder controlar el flujo deseado. La construcción de estos ductos se hizo con plancha galvanizada de 0,8 mm de espesor.

3.7 SELECCION DE EQUIPOS IMPULSORES DE AIRE

Si el flujo de masa de aire es de,

9062.
0,600.
2

$$\dot{m}_a = (504 \text{ kg/hr})(1 \text{ hr}/3.600 \text{ seg}) = 0,14 \text{ kg/seg}$$

Entonces, el caudal será de,

$$Q = \dot{m}_a/\rho_a = (0,14 \text{ kg/seg})/(1,03 \text{ kg/m}^3) = 0,135 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Ahora bién, si consideramos que va a haber una pérdida de presión debido a la resistencia al flujo que va a hacer el cacao, entonces, podemos colocar un ventilador que de acuerdo a la tabla de selección de la Siemens es de 0,28 m^3/seg. Cualquier variación que nos pueda dar en el flujo podrá ser controlada por la compuerta que contempla el diseño de ductos. Por lo tanto, el ventilador seleccionado es un "Siemens" modelo CBKN254e.

3.8 DISEÑO Y CALCULO DEL RECEPTACULO DE CACAO

3.8.1 DIMENSIONAMIENTO

El primer paso a dar para el diseño del recptáculo de cacao del secador es determinar la cantidad de cacao que éste deberá almacenar. Pués bién, si hemos determinado .que trabajará con un flujo de aire de $\dot{m}_a$ de 504 kg/hr y además, que la relación $\dot{m}_a/\dot{m}_c$ es de 22,64 kg de aire por kg de cacao, entonces, tenemos que,

$$\dot{m}_c = \dot{m}_a/(\dot{m}_a/\dot{m}_c) = 504/22,64 = 22,26 \text{ kg cacao/hr}$$

Si consideramos que ésta podría ser la producción horaria, podríamos dimensionar el receptáculo de tal manera que pueda trabajar un turno de, aproximadamente, 5 horas contínuas. Por lo tanto, el tamaño del receptáculo debe ser capaz de contener una cantidad de cacao de,

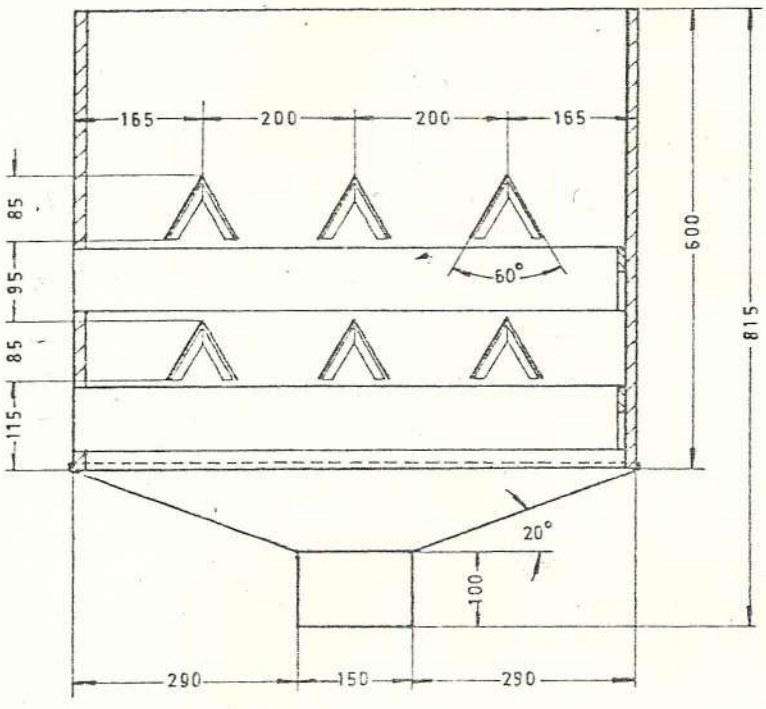
$$\dot{m}_c = (22,26 \text{ kg/hr})(5 \text{ hr}) = 111,3 \text{ kg cacao}$$

Redondeando esta cifra a un valor superior, podríamos determinarla en alrededor de los 115 kg de cacao.

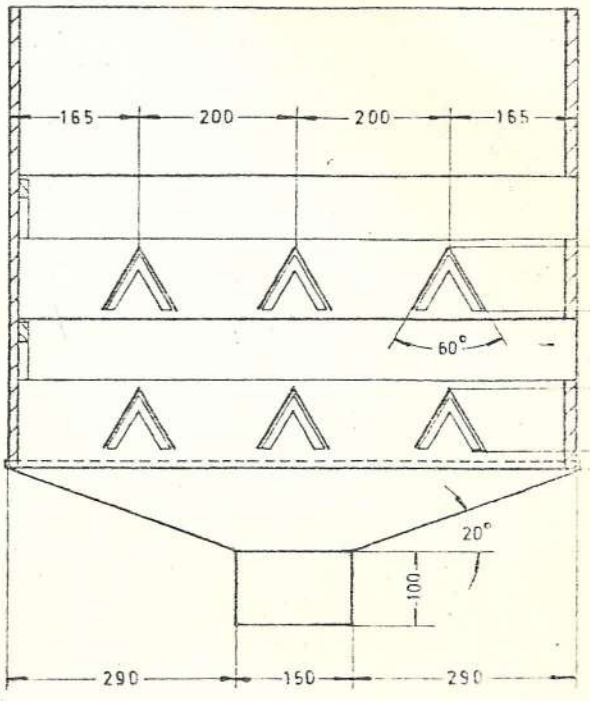
3.8.2 DISEÑO DEL RECEPTACULO

Para lograr un trabajo eficiente y optimizar el flujo de aire a través de la masa de cacao en el receptáculo, se ideó el siguiente diseño (ver figuras 8 y 9 de las páginas siguientes): el aire entrará por el compartimento mostrado en la sección A-A' y será forzado, luego de fluir a través del cacao, para pasar al compartimento de la sección B-B', en pisos sucesivos a todo lo alto del receptáculo. Como se podrá ver, los compartimentos mencionados son grupos de difusores en forma de "V" invertidas. Estos difusores están dispuestos en

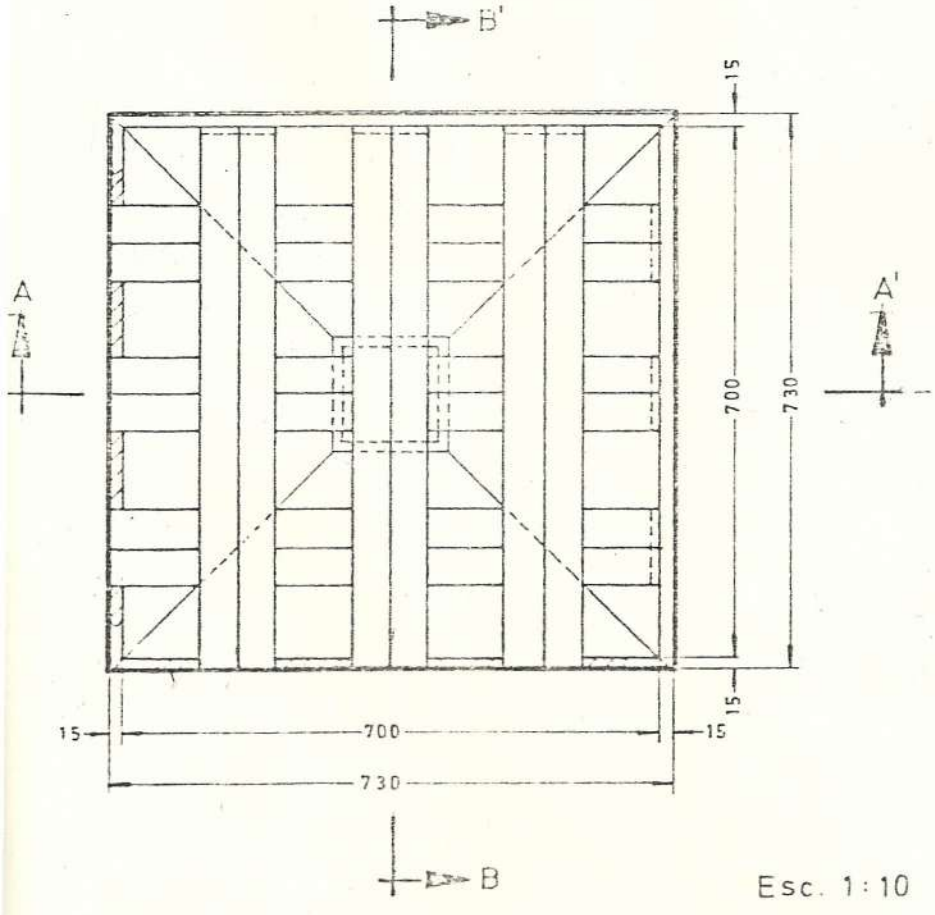
FIGURA # 8 - Diseño del receptáculo



Corte: A - A'



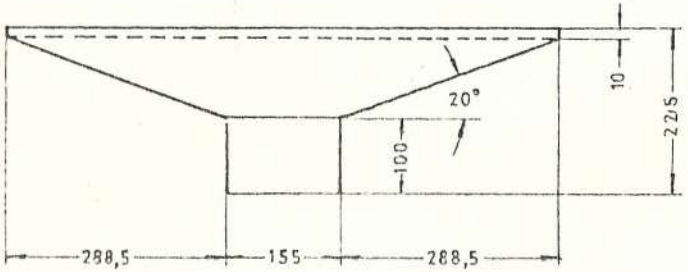
Corte: B - B'

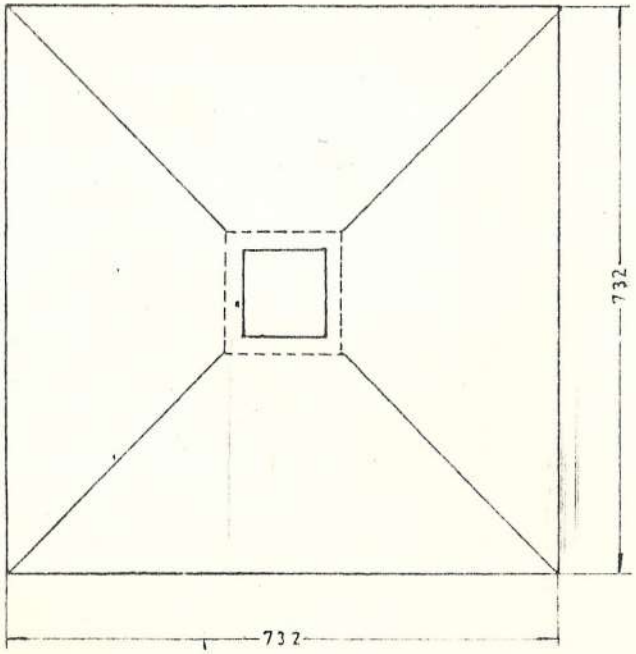


Esc. 1:10

FIGURA # 9 - Detalle de Tolva y Difusores

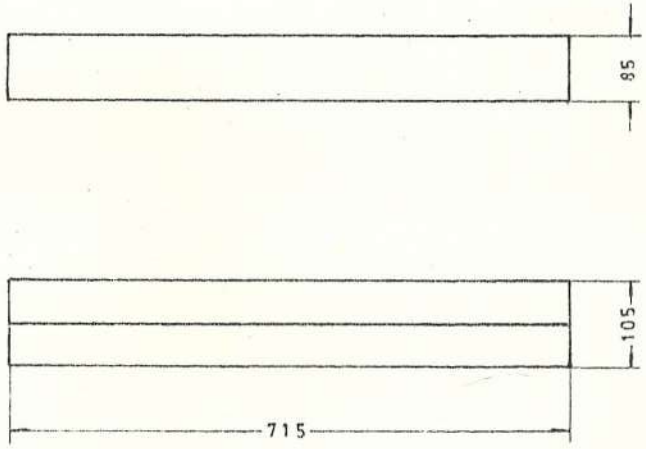
Tolva

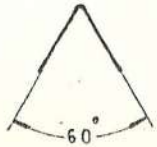




Esc 1:10

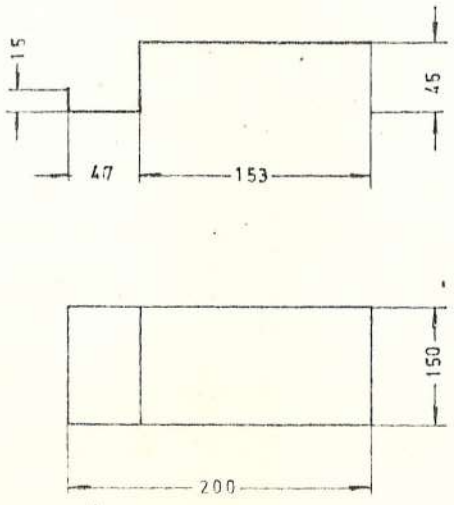
difusores





Esc. 1:10

Tapa corrediza de tolva



Esc. 1:5

hileras de 3, alternativamente, a 90° cada una de ellas con respecto a la inmediata. Entonces, mientras el aire fluye a través del cacao, este último va descendiendo hasta la tolva y secándose. Este patrón de flujo de aire y del grano hacen posible un alto grado de uniformidad del secado del cacao.

Los difusores se han diseñado en forma de "V" invertida, como se dijo anteriormente, con una dimensión de 100 mm por lado y formando un ángulo de 60°. La distancia entre la pared del receptáculo y el primer difusor paralelo a ésta es de 100 mm, así como la distancia entre los mismos. Ahora bién, cada hilera va inmediatamente encima de la otra pero dispuesta a 90°, como se dijo anteriormente y se puede apreciar en la figura 8. En total se colocaron 4 hileras de 3 difusores cada una, que van dispuestas en un receptáculo de 700 mm x 700 mm de base y 600 mm de alto. El espacio que queda en la parte superior es como para poder recibir una mayor cantidad de cacao y así poder trabajar en una forma más contínua. Finalmente, el receptáculo secador tiene por fondo una tolva con un boquete de descarga según las dimensiones especificadas en el dibujo de la figura 9. En el boquete de salida se previó una compuerta para el

control de la descarga del grano. En la parte superior del receptáculo se colocó una tapa para evitar la entrada de aire.

El volúmen total que ocupan los 12 difusores "v_d", considerando las dimensiones diseñadas para los mismos y expresándolas en dm será de,

$$v_d = [(b \times h)/2]L \times 12$$

$$v_d = [(1 \times 0,866)/2]7 \times 12 = 36,372 \text{ dm}^3$$

Ahora, el volúmen total de la zona de secado "v_s", esto es, la zona ocupada por los difusores que tienen una altura de 0,866 dm y son 4 hileras, o sea, 3,464 dm de altura total, será de,

$$v_s = 7 \times 7 \times 3,464 = 169,736 \text{ dm}^3$$

Por lo tanto, el volúmen de cacao a secarse "v_{cs}", será,

$$v_{cs} = v_s - v_d$$

$$v_{cs} = 169,736 - 36,372 = 133,364 \text{ dm}^3$$

Si consideramos que la densidad aproximada del cacao "ρ_c" es de 0,55 kg/dm , entonces, la cantidad de cacao a secarse "m_{cs}" será de,

$$m_{cs} = \rho_c \times V_{cs}$$

$$m_{cs} = (0,55 \text{ kg/dm})(133,364 \text{ dm}) = 73,35 \text{ kg}$$

Si a esto le agregamos lo que queda depositado en la tolva y el excedente que hay en la parte superior que representa un volúmen casi igual al calculado, tenemos que se puede trabajar con una cantidad de cacao que fluctúa entre los 120 a 140 kg que es lo que nos habíamos propuesto.

En cuanto al material con que se hizo el receptáculo es el siguiente:

a) Las paredes se hicieron de madera contrachapada de 1 cm de espesor. Además, interiormente se forró con láminas de aluminio de 0,25 mm de espesor para dar impermeabilidad al receptáculo, y al mismo tiempo, es un material que no es afectado ni afecta al cacao.
b) La tapa se hizo, también, con madera y con las mismas características del anterior.
c) La tolva se hizo con plancha de hierro galvanizado de 0,8 mm de espesor.
d) Los difusores se hicieron con plancha de acero inoxidable de 1 mm de espesor por las excelentes características de este material en cuanto a resistencia y factores de corrosión.

3.9 DISEÑO Y CALCULO DE EQUIPO ADICIONAL NECESARIO

Como equipo adicional necesrio se diseñaron y construyeron unas bases para sustentar tanto el colector como el receptáculo. Debido a la sencillez y bajo costo de estos elementos que las constituyen, no se hizo un cálculo detallado de estos soportes por razones obvias. Las características de estas bases se pueden apreciar en la figura 7 del presente capítulo.

En lo que se refiere a instrumentos, fueron usados los siguientes:

1.- Un termómetro digital electrónico "SKF" de bulbo seco y bulbo húmedo con rango de -40 °C a 4.200 °C.
2.- Anemómetro "STARRET".
3.- Horno secador de cacao de laboratorio.
4.- Balanza electrónica de precisión.
5.- Instrumento de laboratorio de lectura directa de humedad del cacao.
6.- Termocupla con termostato para control de temperatura en el banco de resistencias.

CAPITULO IV

MODELO EXPERIMENTAL

4.1 CONSIDERACIONES TECNICAS EN LA CONSTRUCCION DEL MODELO EXPERIMENTAL

En la construcción del modelo experimental se tomó en cuenta, básicamente, la sencillez y simplicidad del modelo para que el menor número posible de factores incidan en la experimentación y desvíen los resultados obtenidos.

Es importante, por lo tanto, tratar cada uno de los elementos por separado haciendo un análisis de los puntos más relievantes que fueron considerados al construirlo.

4.1.1 COLECTOR

El colector se construyó de una base de madera contrachapada de 1 cm de espesor y se lo aisló con "Plumavit" de 1 cm de espesor en su base y paredes para evitar la fuga de calor hacia el exterior. Detalles del mismo se pueden observar en la figura # 3 del capítulo anterior.

Como se puede verificar a continuación, la pérdida de calor con este tipo de aislamiento es muy

pequeña. Si asumimos que las temperaturas, en casos límites, serán de $t_i = 50°C$ en el interior del colector y $t_o = 25°C$ en el exterior, o sea, la temperatura ambiente (ver figura 10), entonces, la pérdida de calor por unidad de área "q/A" será de,

$$q/A = (t_i - t_o)/(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \qquad 4.1.1$$

donde,

R_1 = resistencia térmica debido al flujo sobre una placa plana en el interior del colector.

R_2 = resistencia térmica debido al aislante.

R_3 = resistencia térmica debido a la madera.

R_4 = resistencia térmica debido al flujo sobre una placa plana en el exterior del colector.

Determinando, entonces, estos valores tenemos que,

$$R_1 = 1/\bar{h}_{c_1} \qquad 4.1.2$$

$$R_2 = e_2/k_2 \qquad 4.1.3$$

$$R_3 = e_3/k_3 \qquad 4.1.4$$

$$R_4 = 1/\bar{h}_{c_4} \qquad 4.1.5$$

donde $\bar{h}_{c_1}$ y $\bar{h}_{c_4}$ representan la conductancia térmica

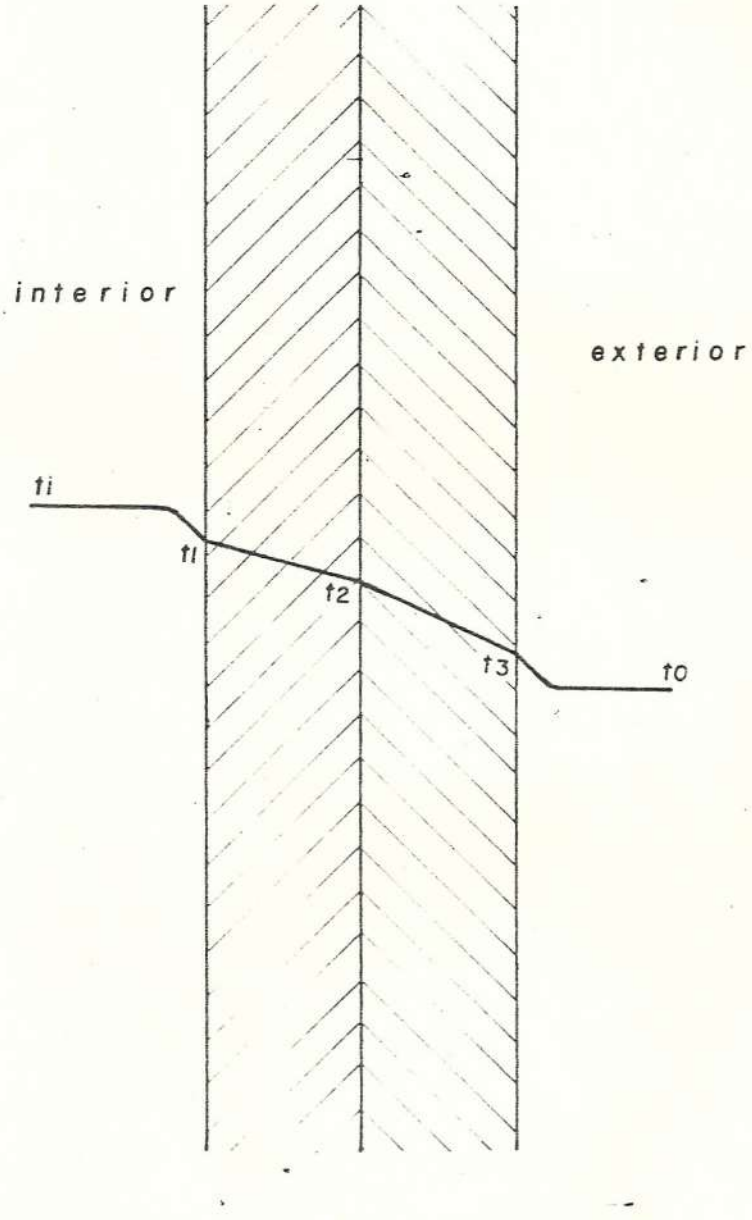


Figura 10

Variación de temperatura a través de una pared de tabique doble

para el flujo sobre placas planas en el interior y exterior del colector respectivamente; k_2 y k_3, las conductividades térmicas del aislante y la madera respectivamente, y e_2 y e_3 son los espesores del aislante y la madera respectivamente.

FIG 10

A su vez, la conductancia está definida para este caso por,

$$\bar{h}_c = [0,036(Pr)^{1/3}(Re)^{0,8}k]/L \qquad 4.1.6$$

donde,

Pr = número de Prandtl.

Re = número de Reynolds.

k = conductividad térmica del aire.

L = Longitud de la placa plana.

Ahora, el número de Reynolds viene dado por,

$$Re = (V\rho L)/\mu \qquad 4.1.7$$

Entonces, calculamos, primeramente, el valor de V para el caso de R_1. Sabemos que el flujo de aire, Q, según lo determinamos en el acápite 3.7, es de 0,135 m^3/seg, y el área, A, por donde fluye el éste es de 0,06 m x 0,6 m, o sea, 0,036 m^2, entonces la

velocidad V_i que es igual a V_1 es de,

$$V_1 = Q/A = 0,135/0,036 = 3,75 \text{ m/seg}$$

$$V_1 = 12,3 \text{ ft/seg}$$

Además, como la longitud es de L = 1,2 m, o sea, 3,94 ft y para este caso, es decir, de las condiciones del aire a t_i = 50°C ó 122 °F, según la tabla II de la página siguiente, tenemos que,

$$\mu = 1,285 \times 10^{-5} \text{ lb /ft-seg}$$

$$\rho = 0,071 \text{ lb /ft}$$

$$Pr = 0,72$$

$$k = 0,0154 \text{ Btu/hr-ft-°F}$$

Entonces, reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.1.7, tenemos,

$$Re_1 = (12,3)(0,071)(3,94)/(1,285 \times 10^{-5})$$

$$Re_1 = 2,678 \times 10^5$$

y reemplazando valores en 4.1.6

$$\bar{h}_{c1} = [(0,036)(0,72)^{1/3}(2,678 \times 10^{5})^{0,8}(0,0154)]/3,94$$

$$\bar{h}_{c1} = 2,77 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-°F}$$

Por lo tanto, R_1, reemplazando valores en 4.1.2,

TABLA II - Tomado de "Transferencia de Calor" de Kreith

TABLA A-2

PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS NO METALES

Material	Temperatura promedio (°F)	k (Btu/hr pie °F)	c (Btu/lbm °F)	ρ (lbm/pie³)	α (pie²/hr)
Materiales aislantes					
Asbesto	32	0.087	0.25	36	~0.01
	392	0.12	....	36	~0.01
Corcho	86	0.025	0.04	10	~0.006
Tela de algodón	200	0.046			
Esqueletos fósiles de diatomeas, pulverizados	100	0.030	0.21	14	~0.01
	300	0.036	....		
	600	0.046	....		
Cubierta de tubo moldeado	400	0.051	....	26	
	1,600	0.088	...		
Lana de vidrio					
Fina	20	0.022	....		
	100	0.031	....	1.5	
	200	0.043	....		
Empaquetada	20	0.016	....		
	100	0.022	....	6.0	
	200	0.029	....		
Fieltro de pelo	100	0.027	....	8.2	
Tabique aislante de arcilla blanca	932	0.15	....	27	
	2,102	0.26	....		
Tabique refractario aislante de arcilla blanca	392	0.05	....	19	
	1,400	0.11	....		
85% de magnesia	32	0.032	....	17	
	200	0.037	....	17	
Lana mineral	20	0.017	....	8	
	200	0.030	....		
Hule	32	0.087	0.48	75	0.0024
Materiales de construcción					
Tabique					
Refractario de barro	392	0.58	0.20	144	0.02
	1,832	0.95			
Mampostería	70	0.38	0.20	106	0.018
Zirconio	392	0.84	....	304	
	1,832	1.13	....		
Tabique cromado	392	0.82	....	246	
	1,832	0.96			
Concreto					
Piedra	~70	0.54	0.20	144	0.019
10% de humedad	~70	0.70	....	140	~0.025
Vidrio de ventana	~70	~0.45	0.2	170	0.013
Piedra caliza seca	70	0.40	0.22	105	0.017
Arena					
Seca	68	0.20	....	95	
10% H_2O	68	0.60	....	109	
Tierra					
Seca	70	~0.20	0.44	....	~0.01
Mojada	70	~1.5	....	....	~0.03
Madera					
Roble,					
perpendicular al grano	70	0.12	0.57	51	0.0041
paralelo al grano	70	0.20	0.57	51	0.0068
Pino,					
perpendicular al grano	70	0.06	0.67	31	0.0029
paralelo al grano	70	0.14	0.67	31	0.0067
Hielo	32	1.28	0.46	57	0.048

TABLA A-3

PROPIEDADES FÍSICAS DE GASES, LÍQUIDOS Y METALES LÍQUIDOS

(Todas las propiedades de los gases son a la presión atmosférica)

GASES

T (°F)	ρ (lbm/pie³)	c_p (Btu/lbm °F)	$\mu \times 10^5$ (lbm/pie seg)	$\nu \times 10^5$ (pie²/seg)	k (Btu/hr pie °F)	Pr	α (pie²/hr)	$\beta \times 10^3$ (1/°F)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°F pie³)
Aire									
0	0.086	0.239	1.110	0.130	0.0123	0.73	0.646	2.18	4.2×10^8
32	0.081	0.240	1.165	0.145	0.0140	0.72	0.730	2.03	3.16
100	0.071	0.240	1.285	0.180	0.0154	0.72	0.905	1.79	1.76
200	0.060	0.241	1.440	0.239	0.0174	0.72	1.20	1.52	0.850
300	0.052	0.243	1.610	0.306	0.0193	0.71	1.53	1.32	0.444
400	0.046	0.245	1.750	0.378	0.0212	0.689	1.88	1.16	0.253
500	0.0412	0.247	1.890	0.455	0.0231	0.683	2.27	1.01	0.159
600	0.0373	0.250	2.000	0.540	0.0250	0.685	2.68	0.913	0.106
700	0.0341	0.253	2.14	0.625	0.0268	0.690	3.10	0.832	70.4×10^3
800	0.0314	0.256	2.25	0.717	0.0286	0.697	3.56	0.764	49.8
900	0.0291	0.259	2.36	0.815	0.0303	0.705	4.02	0.735	36.0
1000	0.0271	0.262	2.47	0.917	0.0319	0.713	4.50	0.685	26.5
1500	0.0202	0.276	3.00	1.47	0.0400	0.739	7.19	0.510	7.45
2000	0.0161	0.286	3.45	2.14	0.0471	0.753	10.2	0.406	2.84
2500	0.0133	0.292	3.69	2.80	0.051	0.763	13.1	0.338	1.41
3000	0.0114	0.297	3.86	3.39	0.054	0.765	16.0	0.289	0.815
Vapor de agua									
212	0.0372	0.451	0.870	0.234	0.0145	0.96	0.864	1.49	0.877×10^8
300	0.0328	0.456	1.000	0.303	0.0171	0.95	1.14	1.32	0.459
400	0.0288	0.462	1.130	0.395	0.0200	0.94	1.50	1.16	0.243
500	0.0258	0.470	1.265	0.490	0.0223	0.94	1.83	1.01	0.139
600	0.0233	0.477	1.420	0.610	0.0257	0.91	2.31	0.943	82×10^3
700	0.0213	0.485	1.555	0.725	0.0288	0.93	2.79	0.862	52.1
800	0.0196	0.494	1.700	0.855	0.0321	0.92	3.32	0.794	34.0
900	0.0181	0.50	1.810	0.987	0.0355	0.91	3.93	0.735	23.6
1000	0.0169	0.51	1.920	1.13	0.0388	0.91	4.50	0.685	17.1
1200	0.0149	0.53	2.14	1.44	0.0457	0.88	5.89	0.603	9.4
1400	0.0133	0.55	2.36	1.78	0.053	0.87	7.25	0.537	5.49
1600	0.0120	0.56	2.58	2.14	0.061	0.87	9.07	0.485	3.38
1800	0.0109	0.58	2.81	2.58	0.068	0.87	10.8	0.442	2.14
2000	0.0100	0.60	3.03	3.03	0.076	0.86	12.7	0.405	1.43
2500	0.0083	0.64	3.58	4.30	0.096	0.86	18.1	0.338	0.603
3000	0.0071	0.67	4.00	5.75	0.114	0.86	24.0	0.289	0.293
Oxígeno									
0	0.0955	0.2185	1.215	0.127	0.0131	0.73	0.627	2.18	4.33×10^8
100	0.0785	0.2200	1.420	0.181	0.0159	0.71	0.880	1.79	1.76
200	0.0666	0.2228	1.610	0.242	0.0179	0.722	1.20	1.52	0.84
400	0.0511	0.2305	1.955	0.382	0.0228	0.710	1.94	1.16	0.256
600	0.0415	0.2390	2.26	0.545	0.0277	0.704	2.79	0.943	0.103
800	0.0349	0.2465	2.53	0.725	0.0324	0.695	3.76	0.794	48.5×10^3
1000	0.0301	0.2528	2.76	0.924	0.0366	0.679	4.80	0.685	25.8
1500	0.0224	0.2635	3.22	1.430	0.0465	0.677	7.83	0.510	7.50

será,

$$R_1 = 1/2,77 = 0,36 \text{ hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu}$$

Ahora bién, para calcular R_2 y R_3, tomando los datos de la tabla II e interpolando, vemos que k_2 y k_3 son 0,031 y 0,04 Btu/hr-ft-°F; y los espesores e_2 y e_3 son iguales y de 1 cm, o sea, 0,033 ft; entonces, reemplazando en 4.1.3 y 4.1.4 los respectivos valores, tenemos,

$$R_2 = 0,033/0,031 = 1,06 \text{ hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu}$$
$$R_3 = 0,033/0,04 = 0,83 \text{ hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu}$$

Por último, para R_4, se ha establecido mediante pruebas de laboratorio que es de, aproximadamente,

$$\bar{h}_{c4} = 2 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

por lo tanto, reemplazando en 4.1.5,

$$R_4 = 1/2 = 0,5 \text{ hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu}$$

Entonces, la pérdida total de calor por unidad de área, reemplazando valores en 4.1.1, será de,

$$q/A = (122 - 77)/(0,36 + 1,06 + 0,83 + 0,5)$$

$q/A = 16,36$ Btu/hr-ft²

Si consideramos que el área total de aislamiento es de,

$$A = (0,06 + 0,06 + 0,6)1,2 = 0,864 \text{ m}^2 = 9,3 \text{ ft}^2$$

Entonces, la cantidad de calor que se pierde, despejando q, es de,

$$q = (16,36)(9,3) = 152,15 \text{ Btu/hr} = 160,52 \text{ kJ/hr}$$

Que es una pérdida mínima si consideramos que se suministra al aire más de 20.000 kJ/hr, según se ha determinado anteriormente. Lo que nos obliga a concluir que el sistema de aislamiento es muy bueno.

4.1.2 DUCTOS

Los ductos fueron hechos de tal manera que se cuidó en extremo la hermeticidad de los mismos.

Estos fueron, también, aislados con una capa de lana de vidrio con cubierta brillante plateada para que no sea influenciado el aire circulante por las condiciones ambientales y la radiación solar. A continuación calcularemos la pérdida de calor a

través de este ducto.

Haciendo un análisis similar al que se hizo con el colector y sabiendo que para este caso t_i es de 65 °C (149 °F) y t_o es de 25 °C (77 °F), determinaremos, primero, la velocidad V. La sección A en este punto es de 0,6 m x 0,3 m, o sea, 0,18 m^2 y el caudal Q sabemos que es de 0,135 m^3/seg, entonces,

$$V = Q/A = 0,135/0,18 = 0,75 \text{ m/seg} = 2,46 \text{ ft/seg}$$

Ahora, de la tabla II, interpolando, obtenemos que,

$$Pr = 0,72$$

$$\mu = 1,361 \times 10^{-5}$$

$$\rho = 0,0656$$

$$k = 0,0164$$

Además, sabemos que L en este caso es de 0,3 m, o sea, 0,984 ft, entonces,

$$Re_i = [(2,46)(0,0656)(0,984)]/(1,361 \times 10^{-5})$$

$$Re_i = 1,167 \times 10^5$$

Por lo tanto,

$\bar{h}_{c1} = [0,036(0,72) \quad (1,167 \times 10^4) \quad 0,0164]/0,984$

$\bar{h}_{c1} = 0,96$ Btu/hr-ft^2-$^\circ$F

De la tabla III de la página siguiente y de la tabla II , interpolando, tomamos los valores de k_{2y3} para la plancha de hierro galvanizado y la lana de vidrio, que son 26,5 y 0,022 Btu/hr-ft-$^\circ$F, respectivamente. El espesor de la plancha e_2 es de 0,8 mm, o sea, 0,0026 ft, y el espesor del aislante, e_3 , es de 1", o sea, 0,083 ft. Por último, el valor de $\bar{h}_{c4}$ que ya se había determinado previamente es de 2 Btu/hr-ft^2-$^\circ$F. Reemplazando estos valores en las ecuaciones 4.1.2 a 4.1.5 tenemos,

$R_1 = 1/0,96 = 1,04$ hr-ft^2-$^\circ$F/Btu

$R_2 = 0,0026/26,5 = 9,81 \times 10^{-5}$ hr-ft^2-$^\circ$F/Btu

$R_3 = 0,083/0,022 = 3,77$ hr-ft^2-$^\circ$F/Btu

$R_4 = 1/2 = 0,5$ hr-ft^2-$^\circ$F/Btu

Reemplazando estos valores en la ecuación 4.1.1, tenemos que la pérdida de calor por unidad de área es de,

$q/A = (149 - 77)/[1,04 + (9,81 \times 10^{-5}) + 3,77 + 0,5]$

$q/A = 13,51$ Btu/hr-ft^2

TABLA A-1

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA k, CALOR ESPECÍFICO c_p, DENSIDAD ρ Y DIFUSIVIDAD TÉRMICA α DE METALES Y ALEACIONES

Material	k (Btu/hr pie °F)				c_p (Btu/lbm °F)	ρ (lbm/pie³)	α (pie²/hr)
	32° F	212° F	572° F	932° F	32° F	32° F	32° F
Metales							
Aluminio	117	119	133	155	0.208	169	3.33
Bismuto	4.9	3.9	....	....	0.029	612	0.28
Cobre puro	224	218	212	207	0.091	558	4.42
Oro	169	170	....	....	0.030	1,203	4.68
Hierro puro	35.8	36.6	....	....	0.104	491	0.70
Plomo	20.1	19	18	....	0.030	705	0.95
Mercurio	91	92	....	....	0.232	109	3.60
Magnesio	4.8	....	....	....	0.033	849	0.17
Níquel	34.5	34	32	....	0.103	555	0.60
Plata	242	238	....	....	0.056	655	6.6
Estaño	36	34	....	....	0.054	456	1.46
Zinc	65	64	59	....	0.091	446	1.60
Aleaciones							
Metal "Almirantazgo"	65	64					
Latón, 70% Cu, 30% Zn	56	60	66	....	0.092	532	1.14
Bronce, 75% Cu, 25% Sn	15	....	....	....	0.082	540	0.34
Hierro colado							
Puro	33	31.8	27.7	24.8	0.11	474	0.63
Ligado	30	28.3	27	....	0.10	455	0.66
Constantán, 60% Cu, 40% Ni	12.4	12.8	....	....	0.10	557	0.22
18-8 acero inoxidable,							
Tipo 304	8.0	9.4	10.9	12.4	0.11	488	0.15
Tipo 307	8.0	9.3	11.0	12.8	0.11	488	0.15
Acero dulce, 1% C	26.5	26	25	22	0.11	490	0.49

TABLA III - Tomado de "Transferencia de Calor" de Kreith

Ahora bién, si consideramos que en total tenemos un área en este tramo del ducto de 5,4 ft^2, aproximadamente, entonces, la pérdida de calor será de,

$$q = (13,51)(5,4) = 72,95 \text{ Btu/hr} = 76,97 \text{ kJ/hr}$$

que es un valor insignificante comparado con los 28.329,84 kJ/hr que se suministra al aire según se vió en el acápite 3.5; lo que nos conduce a concluir que el sistema de aislamiento de los ductos es muy bueno.

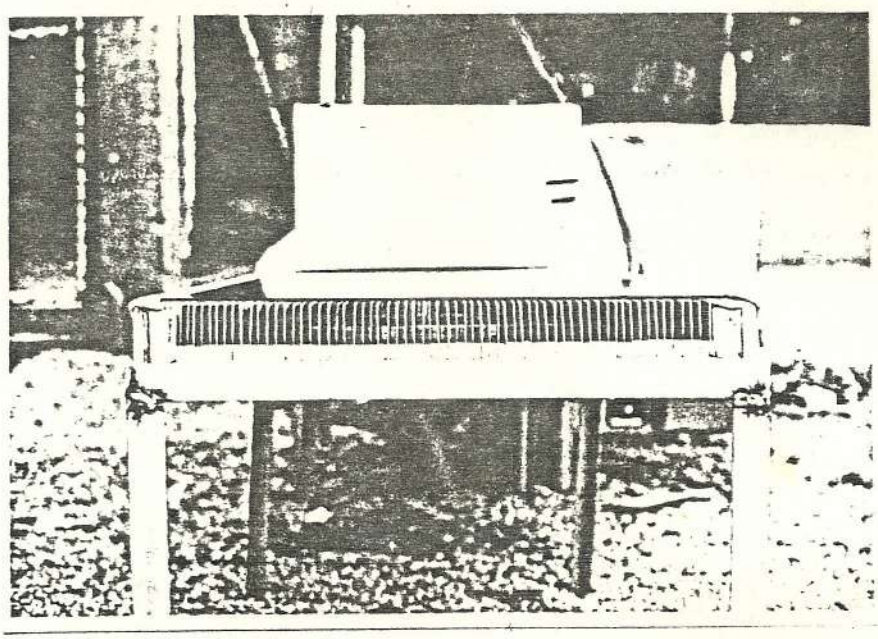
Hay que anotar, también, que se previó en la construcción de los ductos unos pequeños agujeros a la salida del colector y a la entrada del receptáculo para poder introducir el bulbo sensor del termómetro así como la termocupla. A estos instrumentos se les adaptó una especie de tapón de corcho para no permitir el escape de aire.

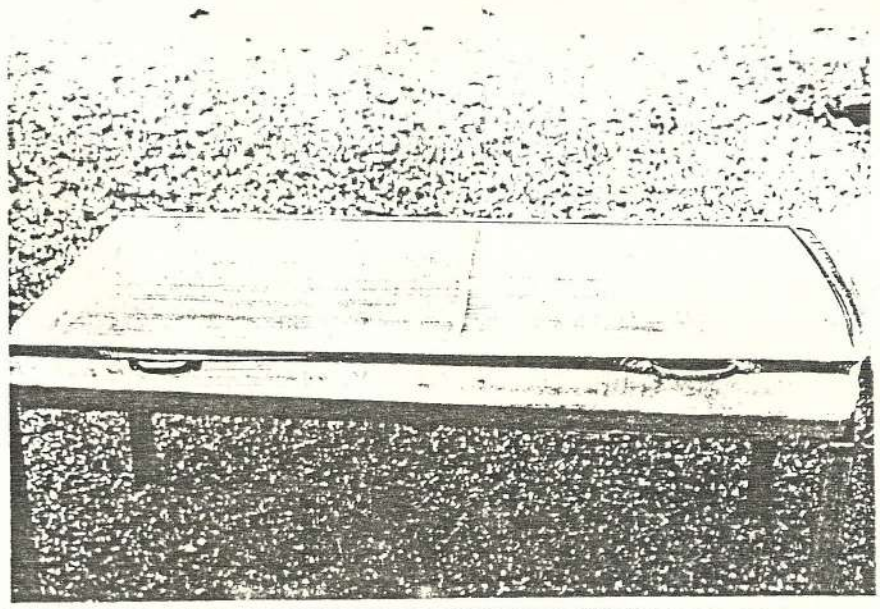
4.1.3 RECEPTACULO

En la construcción del receptáculo como se explicó en el capítulo anterior, en el acápite correspondiente al diseño del mismo, se detalla, ampliamente, todas las consideraciones técnicas que se tomaron en cuenta y que fueron cumplidas en la

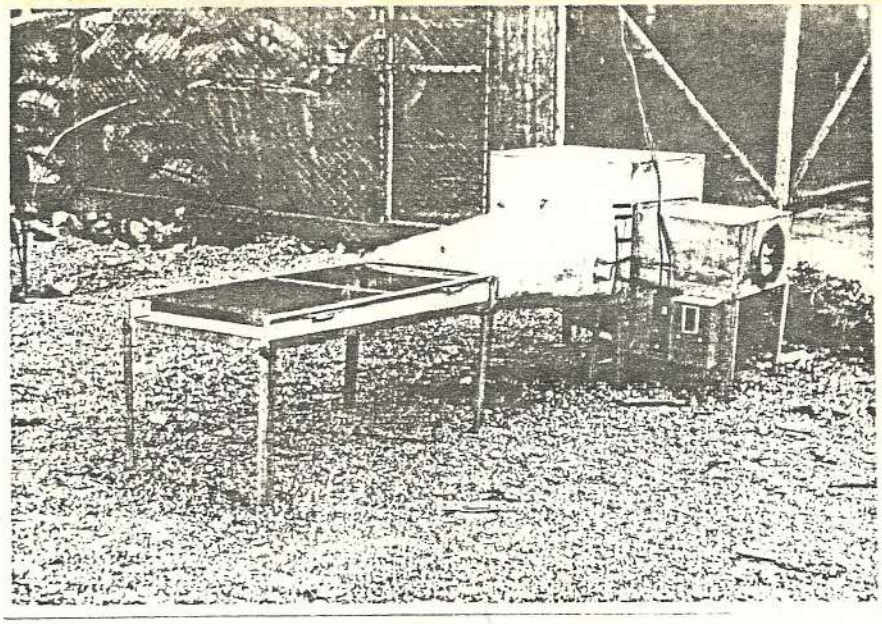
fase de construcción del presente modelo. Entre éstas cabe destacar la cuidadosa selección de los materiales empleados para lograr un rendimiento óptimo del secador.

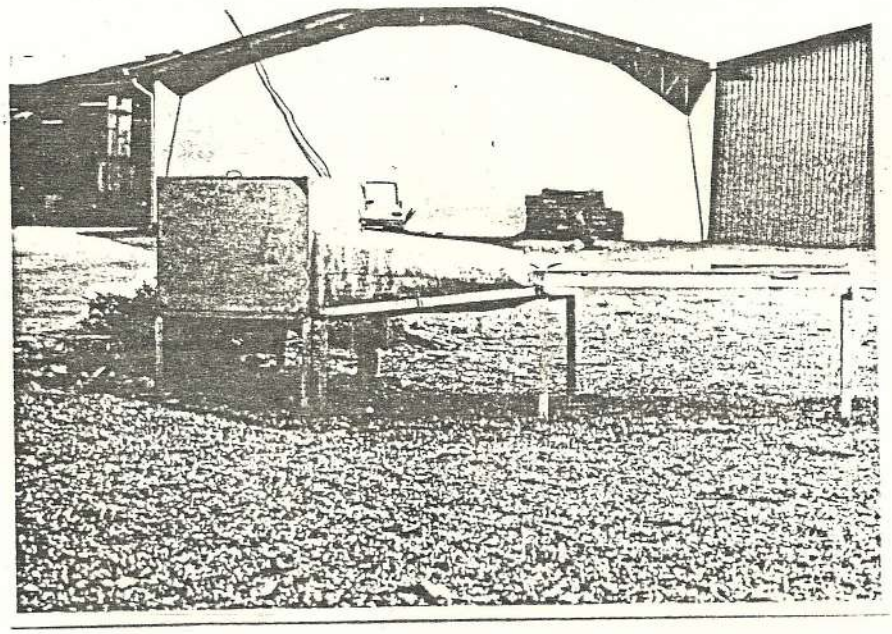
En las dos páginas siguientes, fotos # 1 y fotos # 2, se han incluído algunas fotografías del secador en el que se podrán apreciar detalles del mismo.

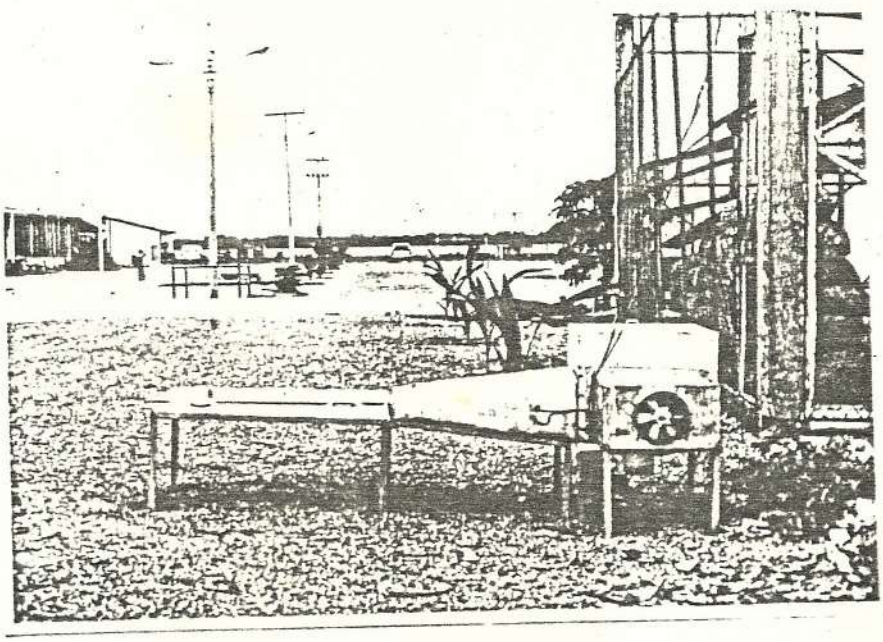




FOTOS # 1 - Detalles del colector







FOTOS ∮ 2 - Detalles del secador

CAPITULO V

FASE EXPERIMENTAL

5.1 RECOPILACION DE DATOS

La recopilación de datos se hizo de acuerdo a los objetivos de la presente tesis. Esto es, se tomaron en consideración los puntos básicos para determinar la efectividad del modelo experimental, y así poder evaluar la aplicabilidad del mismo en un plano netamente práctico. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron, por lo tanto, los siguientes:

1.- La hora del día.

2.- La condición del día.

3.- Temperaturas:

a) ambiental (bulbo seco y húmedo: t_{os} , t_{ow})

b) Aire a la salida del colector (bulbo seco y húmedo: t_{1s} , t_{1w})

c) Aire a la entrada del receptáculo (bulbo seco y húmedo: t_{2s} , t_{2w}) -

4.- Humedad inicial del grano.

5.- Humedad final del grano.

En base a estos datos podemos calcular, en el acápite siguiente, los consumos reales de energía para lograr nuestro propósito y por ende la eficiencia real obtenida del modelo propuesto.

Aquí se presentarán los cuadros de datos obtenidos en dos períodos de pruebas; el primero, que fué realizado entre el 6 y el 10 de Julio de 1.981, y un segundo período, en el que se hicieron ciertas variaciones en cuanto a temperaturas, que corre desde el 20 al 23 de Julio del mismo año. Las razones por las que se hicieron y recopilaron los datos en dos períodos y las variaciones que hubo que realizar entre uno y otro período serán expuestas y analizadas en el acápite siguiente.

Entonces, de acuerdo a lo expuesto, en las páginas siguientes, pasamos a la presentación de los cuadros de recopilación de datos, que corresponden: de los números 1 al 5, al primer período de pruebas, y de los números 6 al 9, al segundo período de pruebas.

CUADRO No.1 (Primer período de prueba)

Fecha 81/7/6 Hora	t_o S	t_o W	t_1 S	t_1 W	t_2 S	t_2 W	Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
7:00	19	18.3	24	19.1	65	29.4	11.97	-
8:00	21	20.6	28	22.6	65	30.6	11.97	11.27
9:00	23	21.8	30	24	65	33.3	11.97	11.27
10:00	24	21.5	31	23.5	65	31.1	11.97	10.70
11:00	25	21.4	36	24.4	65	30	11.97	10.69
12:00	28	20.5	40	23.8	65	28.9	11.97	10.64
13:00	31	21	45	24.4	65	29.2	11.97	10.69
14:00	30	20.8	40	23.3	65	28.3	11.97	10.65
15:00	28	20.7	36	22.8	65	28.9	11.97	10.62
16:00	29	23.4	37	25.5	65	30.8	11.97	10.59
17:00	27	22.8	34	23.9	65	30	11.97	10.65
18:00	25	21.7	31	23.3	65	31.1	11.97	10.61

CUADRO No.2 (Primer período de pruebas)

Fecha 81/7/7	t_o		t_1		t_2		Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
Hora	S	W	S	W	S	W		
7:00	19	18.9	25	20.7	65	30.6	10.76	
8:00	20	19.9	30	22.8	65	31.1	10.76	10.09
9:00	22	20.9	34	24.3	65	31.1	10.76	9.52
10:00	24	20.1	38	24.1	65	30.6	10.76	9.24
11:00	27	20.4	42	24.6	65	28.9	10.76	9.22
12:00	28	19.4	45	24.4	65	28.9	10.76	9.19
13:00	30	19.2	46	23.9	65	28.3	10.76	9.20
14:00	31	20	46	24.2	65	28.9	10.76	9.18
15:00	34	20.4	45	23.5	65	28.3	10.76	9.17
16:00	35	21.4	44	23.9	65	28.9	10.76	9.19
17:00	32	19.7	41	22.3	65	28.3	10.76	9.17
18:00	28	20.1	38	22.9	65	30	10.76	9.18

CUADRO No.3 (Primer período de pruebas)

Fecha 81/7/8	t_o		t_1		t_2		Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
Hora	s	w	s	w	s	w		
7:00	19	18.9	24	20.4	65	29.7	9.31	
8:00	20	19.7	25	21.2	65	29.8	9.31	9.05
9:00	24	20.1	32	22.4	65	29.6	9.31	8.85
10:00	25	19.3	37	25.7	65	29.5	9.31	8.91
11:00	28	19.7	39	22.9	65	29.4	9.31	8.75
12:00	30	19.4	42	22.9	65	29.3	9.31	8.23
13:00	30	19.9	45	24.1	65	29.4	9.31	8.05
14:00	29	29.9	43	23.6	65	29.4	9.31	8.13
15:00	30	20.1	44	24	65	29.4	9.31	8.09
16:00	31	20	45	23.9	65	29.3	9.31	8.11
17:00	29	19.9	39	22.9	65	29.4	9.31	8.06
18:00	27	19.3	35	21.8	65	29.4	9.31	8.10

CUADRO No.4 (Primer período de pruebas)

Fecha 81/7/9	t_o		t_1		t_2		Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
Hora	S	W	S	W	S	W		
7:00	19	18.9	24	20.4	65	29.7	8.49	-
8:00	20	19.9	25	21.4	65	29.9	8.49	8.26
9:00	22	21.1	29	23.2	65	29.9	8.49	8.03
10:00	23	21	35	24.4	65	29.9	8.49	7.85
11:00	24	22.6	34	24.9	65	29.9	8.49	7.91
12:00	26	21.9	34	24.2	65	29.6	8.49	7.79
13:00	28	21.1	36	23.3	65	29.6	8.49	7.73
14:00	31	20.9	38	23	65	29.6	8.49	7.68
15:00	30	21.1	36	22.8	65	29.6	8.49	7.63
16:00	28	20.8	35	22.8	65	29.6	8.49	7.58
17:00	27	21.6	33	23.3	65	29.7	8.49	7.61
18:00	26	22.9	31	24.2	65	29.9	8.49	7.59

CUADRO No.5 (Primer período de prueba)

Fecha 81/7/10	t_o		t_1		t_2		Humedad inicial	Humedad final
Hora	s	w	s	w	s	w	cacao	cacao
7:00	19	18.9	23	20.1	65	29.7	7.79	-
8:00	19	18.9	24	20.4	65	29.7	7.79	7.59
9:00	20	19.9	25	21.4	65	29.9	7.79	7.41
10:00	21	20.6	28	22.6	65	29.9	7.79	7.33
11:00	22	21.8	27	23.2	65	33.3	7.79	7.38
12:00	23	21.7	29	23.3	65	29.9	7.79	7.31
13:00	23	20.6	30	22.8	65	29.8	7.79	7.26
14:00	25	18.9	33	21.4	65	28.3	7.79	7.30
15:00	26	19	34	21.4	65	29.4	7.79	7.22
16:00	25	19.4	33	21.8	65	29.5	7.79	7.25
17:00	25	19.3	32	21.4	65	29.5	7.79	7.32
18:00	24	18.9	30	20.8	65	39.5	7.79	7.21

CUADRO No.6 (Segundo período de prueba)

Fecha 81/7/20 Hora	t_o s	t_o w	t_1 s	t_1 w	t_2 s	t_2 w	Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
7.00	20	19.9	27	21.8	90	35.6	11.83	-
8:00	22	21.3	30	23.5	90	36.1	11.83	7.47
9:00	23	20.7	33	23.5	90	35.6	11.83	7.19
10:00	26	20.1	39	23.9	90	35	11.83	6.85
11:00	27	19.3	41	24.3	90	35	11.83	7.14
12:00	27	19.8	39	23.3	90	34.4	11.83	7.06
13:00	28	18.9	38	21.9	90	33.9	11.83	7.11
14:00	30	19.7	43	24.2	90	34.4	11.83	7.03
15:00	32	19.4	44	22.9	90	33.6	11.83	6.94
16:00	32	18.8	40	21.2	90	33.5	11.83	7.07
17:00	30	17.8	37	20	90	33.3	11.83	6.92
18:00	28	18.6	34	20.6	90	33.9	11.83	7.10

CUADRO No.7 (Segundo período de pruebas)

Fecha 81/7/21	t_o		t_1		t_2		Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
Hora	s	w	s	w	s	w		
7:00	20	19.8	23	21	90	35.6	12.08	
8:00	22	21.2	28	22.9	90	36.1	12.08	7.53
9:00	24	20.8	34	23.6	90	36.1	12.08	7.22
10:00	27	20.9	39	24.3	90	35	12.08	7.03
11:00	28	20.2	42	24.1	90	34.4	12.08	7.15
12:00	29	20.4	46	24.9	90	34.4	12.08	6.97
13:00	32	20.7	49	25.1	90	34.4	12.08	7.08
14:00	34	19.9	52	24.7	90	33.6	12.08	7.11
15:00	35	19.4	52	24	90	33.3	12.08	7.01
16:00	35	19.2	50	23.6	90	32.8	12.08	6.89
17:00	32	20.7	42	23.8	90	34.4	12.08	7.01
18:00	29	18.8	35	20.7	90	33.9	12.08	7.10

CUADRO No.8 (Segundo período de pruebas)

Fecha 81/7/22	t_o		t_1		t_2		Humedad inicial cacao	Humedad final cacao
Hora	s	w	s	w	s	w		
7:00	20	19.4	24	20.7	90	35.6	12	-
8:00	22	20.3	30	22.6	90	35.6	12	7.41
9:00	24	19.7	34	22.7	90	35	12	7.19
10:00	28	19.6	40	23.1	90	34.4	12	7.14
11:00	28	19.1	43	23.4	90	33.9	12	7.15
12:00	30	19.2	45	23.6	90	33.9	12	7.02
13:00	32	19.9	47	23.6	90	33.9	12	7.11
14:00	31	19.7	41	22.6	90	33.9	12	6.92
15:00	30	19.8	43	23.6	90	33.9	12	7.14
16:00	29	20.3	38	22.7	90	33.9	12	7.05
17:00	28	20.1	36	22.3	90	34.4	12	7.12
18:00	26	19.6	32	21.4	90	34.4	12	7.06

CUADRO No.9 (Segundo período de pruebas)

Fecha 81/7/23	t_0		t_1		t_2		Humedad Inicial cacao	Humedad final cacao
Hora	S	W	S	W	S	W		
7:00	20	19.9	23	21	90	35.6	11.56	
8:00	21	20.8	25	21.9	90	36.1	11.56	7.64
9:00	22	21.8	28	23.4	90	37.2	11.56	7.32
10;00	23	21.9	30	23.8	90	37.2	11.56	7.13
11:00	26	21.8	34	24	90	35.6	11.56	7.19
12:00	27	22.3	36	24.8	90	36.1	11.56	7.17
13:00	26	21.1	34	23.3	90	35.3	11.56	7.08
14:00	27	21.1	35	23.4	90	35	11.56	7.11
15:00	28	21.6	37	24	90	35.3	11.56	7.05
16:00	27	21.6	35	23.8	90	35.6	11.56	7.14
17:00	26	22.6	33	24.5	90	36.1	11.56	7.13
18:00	25	21.7	30	23.1	90	35.6	11.56	7.07

En base a los datos obtenidos que están expuestos en los cuadros precedentes, se elaboraron los cuadros que siguen más adelante. Ahora bién, para hacer estos cuadros se utilizaron las cartas psicrométricas (ver apéndice A), cuando el rango de temperaturas lo permitía, para así poder obtener las humedades relativas, el contenido de humedad y las entalpías. Cuando la temperatura sobrepasaba los 50°C (122°F), se recurría a la carta psicrométrica del apéndice A-II. Sin embargo, en esta carta no aparecen los valores de las entalpías, por lo tanto, se utilizó la ecuación,

$$h = c_p t + W(1.062 + 0,44) \qquad 5.1.1$$

(Tomada del Mechanical Engineers Handbook de Marks, 8ava. Edición, 1.978, pág. 4-32), que es válida para temperaturas de hasta 121°C (250°F aproximadamente).

El valor de "c_p" para el aire se tomó de la tabla II en el capítulo IV, de acuerdo a la temperatura correspondiente. Es necesario anotar que tanto la ecuación 5.1.1 como las cartas psicrométricas empleadas están desarrolladas para el sistema inglés y aquí como en todo el resto

del presente trabajo se presentan las unidades ISO; por lo tanto y naturalmente, se hicieron las conversiones pertinentes. En el Apéndice B están las tablas de conversión de unidades.

CUADRO No. 10

Entalpías (Btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 98/7/6	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad Grains	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	lb.aire seco	abs	%	abs	%	abs	%
7:00	31	95%	33.1	63%	53.9	8%	92	2.1	9,2%	20	90.8%	22.9	100%
8:00	33.8	95%	36.4	64%	56.5	10%	105	3.2	13,7%	20,1	86,3%	23,3	100%
9:00	35,2	90%	38,9	61%	58	12%	113	3,7	16,2%	19,1	83,8%	22,8	100%
10:00	34,7	80%	37,9	53%	56,7	11%	106	3,2	14,6%	18,8	85,4%	22	100%
11:00	34,5	72%	39,4	38%	55,7	9%	101	4,9	23,1%	16,3	76,9%	21,2	100%
12:00	33,3	50%	38,4	26%	52,4	10%	84	5,1	26,7%	14	73,3%	19,1	100%
13:00	33,8	40%	38,7	22%	52,6	10%	85	4.9	26,1%	13,9	73,9%	18,8	100%
14:00	33,4	45%	37,1	23%	51,2	9%	78	3,7	20,8%	14,1	79,2%	17,8	100%
15:00	33,4	52%	36,6	33%	52,4	10%	84	3,2	16,8%	15,8	83,2%	19	100%
16:00	38,3	64%	41,1	38%	54,6	8%	95	2,8	17,2%	13,5	82,8%	16,3	100%
17:00	36,8	70%	38,5	43%	55,9	9%	102	1,7	8,9%	17,4	91,1%	19,1	100%
18:00	35	75%	37,5	52%	56,3	11%	104	2,5	11,7%	18,8	88,3%	21,3	100%
Prom.	34,4	69%	37,8	43%	54,7	9,8%	95,8	3,4	17,1%	16,9	82,9%	20,3	100%

CUADRO No. 11

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/7	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad Grains	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	lb.aire seco	abs	%	abs	%	abs	%
7:00	30.9	98%	33.4	68%	54,7	9%	96	2,5	10,5%	21,3	89,5%	23,8	100
8:00	32,2	98%	36,7	54%	56,3	10%	104	4,4	18,3%	19,6	81,7%	24	100
9:00	33,8	92%	39,3	45%	56,9	10%	107	5,5	23,8%	17,6	76,2%	23,1	100
10:00	32,5	70%	38,8	32%	54	8%	92	6,3	29,3%	15,2	70,7%	21,5	100
11:00	32,8	55%	39,5	24%	52,8	7%	86	6,7	33,5%	13,3	66,5%	20	100
12:00	31,6	45%	39,1	18%	50	7%	72	7,5	39,1%	10,9	60,9%	18,4	100
13:00	31,1	36%	38,4	15%	48,9	7%	66	7,3	41 %	10,5	59 %	17,8	100
14:00	32,4	36%	38,9	17%	49,7	7%	70	6,5	37,6%	10,8	62,4%	17,3	100
15:00	33	28%	37,9	18%	48,9	7%	66	4,9	30,8%	11	69,2%	15,9	100
16:00	34,2	29%	38,4	18%	50	7%	72	4,2	26,6%	11,6	73,4%	15,8	100
17:00	31,7	31%	35,8	19%	48,7	6%	65	4,1	23,2%	12,9	76,8%	17,7	100
18:00	32,5	48%	36,8	27%	51,7	8%	80	4,3	22,4%	14,9	77,6%	19,2	100
Prom.	32,4	55,5%	37,8	29,6%	51,9	7,8%	81,3	5,4	28 %	14,1	72 %	19,5	100

CUADRO No. 12

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/8	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad Grains lb.aire seco	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)		abs	%	abs	%	abs	%
7:00	30,8	98%	33	72%	54,8	9%	96	2,2	9,2%	21,8	90,8%	24	100%
8:00	31,4	94%	34,2	71%	55,5	9%	100	2,8	11,2%	21,3	88,8%	24,1	100%
9:00	31,5	70%	36	44%	54	8,5%	92	4,5	20 %	18	80 %	22,5	100%
10:00	31,3	59%	36,6	29%	52	8%	82	5,3	25,6%	15,4	74,4%	20,7	100%
11:00	31,8	46%	36,6	24%	50	7,5%	76	4,8	26,4%	13,4	73,6%	18,2	100%
12:00	31,5	37%	36,8	19%	49,3	6%	68	5,3	29,8%	12,5	70,2%	17,8	100%
13:00	32	38%	38,7	17%	50,1	6,5%	72	6,7	37 %	11,4	63 %	18,1	100%
14:00	31,6	42%	38	19%	50,6	7,5%	75	6,4	33,7%	12,6	66,3%	19	100%
15:00	32,4	40%	38,5	18%	50,4	7,5%	74	6,1	33,9%	11,9	66,1%	18	100%
16:00	32,3	36%	38,3	17%	49,9	6,5%	71	6	34,1%	11,6	65,9%	17,6	100%
17:00	32,1	43%	36,6	24%	50	7,5%	76	4,5	25,1%	13,4	74,9%	17,9	100%
18:00	31,2	48%	34,8	31%	50	7,5%	76	3,6	19,2%	15,2	84,8%	18,8	100%
Prom.	31,7	54,3%	36,5	32,1%	51,4	7,6%	79,8	4,8	25,4%	14,9	74,6%	19,7	100%

CUADRO No.13

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/9	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad grains	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	lb.aire seco	abs	%	abs	%	abs	%
7:00	30,8	98%	33	72%	54,8	9%	96	2,2	9,2%	21,8	90,8%	24	100%
8:00	32,1	98%	34,5	73%	56,1	9,5%	103	2,4	10 %	21,6	90 %	24	100%
9:00	34,1	94%	37,1	61%	57,1	10%	108	3	13 %	20	87 %	23	100%
10:00	33,9	84%	39,3	42%	56,3	9,5%	104	5,4	24,1%	17	75,9%	22,4	100%
11:00	35,8	89%	40,3	48%	56,1	9,5%	103	4,5	22,2%	15,8	77,8%	20,3	100%
12:00	35,2	70%	39	45%	56,3	9,5%	104	3,8	18 %	17,3	82 %	21,1	100%
13:00	34,1	55%	37,5	35%	53,6	8,5%	90	3,4	17,4%	16,1	82,6%	19,5	100%
14:00	33,3	40%	36,8	27%	51,6	7%	80	3,5	19,1%	14,8	80,9%	18,3	100%
15:00	34,1	45%	36,6	33%	52,4	7%	84	2,5	13,7%	15,8	86,3%	18,3	100%
16:00	33,5	52%	36,6	35%	53,2	8,5%	88	3,1	15,7%	16,6	83,4%	19,7	100%
17:00	34,8	62%	37,5	43%	55,1	9%	98	2,7	13,3%	17,6	86,7%	20,3	100%
18:00	36,7	76%	38,7	48%	56,3	9,5%	104	2	10,2%	17,6	89,8%	19,6	100%
Prom.	34	71,9%	37,2	46,8%	54,9	8,9%	96,8	3,2	15,5%	17,7	84,5%	20,9	100%

CUADRO No.14

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/10	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad Grains	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	lb.aire seco	abs	%	abs	%	abs	%
7:00	30,8	98%	32,6	77%	54,8	9%	96	1,8	7,5%	22,2	92,5%	24	100%
8:00	30,8	98%	32,9	71%	54,8	9%	96	2,1	8,8%	21,9	91,2%	24	100%
9:00	32,1	98%	34,5	73%	55,9	9,5%	102	2,4	10,1%	21.4	89.9%	23,8	100%
10:00	33,2	96%	36,2	63%	57,1	10%	108	3	12,6%	20,9	87,4%	23,9	100%
11:00	35,1	98%	37,4	72%	58,5	12%	115	2,3	9,8%	21,1	90,2%	23,4	100%
12:00	34,9	89%	37,6	63%	57,5	10%	110	2,7	12 %	19,9	88 %	22,6	100%
13:00	33,4	81%	36,8	52%	55,7	9%	101	3,4	15,3%	18,9	84,7%	22,3	100%
14:00	30,8	55%	34,3	35%	55,2	9%	78	3,5	17,2%	16,9	82,8%	20,4	100%
15:00	30,9	53%	34,5	33%	50,8	7,5%	76	3,6	18,1%	16,3	81,9%	19,9	100%
16:00	31,6	59%	35	37%	52,2	8%	83	3,4	16,5%	17,2	83,5%	20,6	100%
17:00	31,3	58%	34,5	39%	52	8%	82	3,2	15,5%	17,5	84,5%	20,7	100%
18:00	30,8	61%	33,4	44%	51,8	8%	81	2,6	12,4%	18,4	87,6%	21	100%
Prom.	32,1	78,7%	35	54,9%	54,4	9,1%	94	2,9	13 %	19,4	87 %	22,3	100%

CUADRO No.15

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/20	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad Grains	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	lb.aire seco	abs	%	abs	%	abs	%
7:00	32,1	98%	35,7	64%	66,7	3%	102	3,6	10,4%	31	89,6%	34,6	100%
8:00	34,3	97%	38,1	58%	68,3	3,5%	110	3,8	11,2%	30,2	88,8%	34	100%
9:00	33,3	82%	38	45%	66,5	3%	101	4,7	14,2%	28,5	85,8%	33,2	100%
10:00	32,5	58%	38,4	28%	63,8	2,8%	87	5,9	18,9%	25,4	81,1%	31,3	100%
11:00	32,9	48%	39	25%	63,6	2,8%	86	6,1	19,9%	24,6	80,1%	30,7	100%
12:00	32	51%	37,4	26%	62,4	2,7%	80	5,4	17,8%	25	82,2%	30,4	100%
13:00	30,8	43%	35,1	24%	60,3	2,2%	69	4,3	14,6%	25,2	85,4%	29,5	100%
14:00	31,9	38%	39	21%	62,2	2,7%	79	7,1	23,4%	23,2	76,6%	30,3	100%
15:00	31,6	30%	36,8	16%	59,1	2 %	63	5,2	18,9%	22,3	81,1%	27,5	100%
16:00	30,2	28%	34	17%	57,7	2 %	56	3,8	13,8%	23,7	86,2%	27,5	100%
17:00	29,2	29%	32,2	19%	57,3	1,9%	54	3	10,7%	25,1	89,3%	28,1	100%
18:00	30,3	40%	33,1	28%	59,9	2,2%	67	2,8	9,5%	26,8	90,5%	29,6	100%
Prom.	31,8	53,5%	36,4	29,3%	62,3	2,6%	79,5	4,6	15,3%	25,9	84,7%	30,5	100%

CUADRO No. 16

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/21	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad Grains	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	lb.aire seco	abs	%	abs	%	abs	%
7:00	32,1	98%	33,9	84%	66,7	3 %	102	1,8	5,7	32,8	98,2	34,6	100
8:00	34,2	95%	36,9	65%	68,1	3,5%	109	2,7	8	31,2	92	33,9	100
9:00	33,6	75%	38,1	43%	68,1	3,5%	109	4,5	13	30	87	34,5	100
10:00	33,6	58%	39	29%	64,6	2,8%	91	5,4	17,4	25,6	82,6	31	100
11:00	32,5	48%	38,8	23%	62,6	2,7%	81	6,3	20,9	23,8	79,1	30,1	100
12:00	32,8	45%	40	18%	62,4	2,7%	80	7,2	24,3	22,4	75,7	29,6	100
13:00	33	36%	40,3	14%	61,2	2,5%	74	7,3	25,9	20,9	74,1	28,2	100
14:00	32	27%	39,6	9%	58,7	2 %	61	7,6	28,5	19,1	71,5	26,7	100
15:00	31,4	22%	38,5	8%	57,3	1,9%	54	7,1	27,4	18,8	72,6	25,9	100
16:00	31	21%	37,7	8,5%	56,9	1,8%	52	6,7	25,9	19,2	74,1	25,9	100
17:00	32,1	36%	38,1	19%	61,2	2,5%	74	6	20,6	23,1	79,4	29,1	100
18:00	30,4	37%	33	27%	59,5	2,1%	65	2,6	8,9	26,5	91,1	29,1	100
Prom.	32,4	49,8%	37,8	29%	62,3	2,4%	79,3	5,4	18,9	24,5	81,1	29,9	100

CUADRO No. 17

Entalpías (btu/lb.aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb.aire seco)

Fecha 81/7/22	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad $\frac{Grains}{lb.aire\ seco}$	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)		abs	%	abs	%	abs	%
7:00	31,6	95%	33,4	74%	65,9	3 %	98	1,8	5,3	32,5	94,7	34,3	100
8:00	32,2	86%	36,4	54%	66,3	3 %	100	4,2	12,3	29,9	87,7	34,1	100
9:00	31,8	66%	36,3	38%	64	2,8%	88	4,5	14	27,7	86	32,2	100
10:00	31,6	45%	37,1	23%	61,4	2,5%	75	5,5	18,5	24,3	81,5	29,8	100
11:00	30,8	42%	37,5	19%	60,5	2,2%	70	6,7	22,6	23	77,4	29,7	100
12:00	31	36%	37,7	16%	59,7	2,1%	66	6,7	23,3	22	76,7	28,7	100
13:00	32	32%	37,8	13%	59,9	2,1%	67	5,8	20,8	22,1	79,2	27,9	100
14:00	31,1	34%	36,1	19,5%	60,1	2,2%	68	5	17,2	24	82,8	29	100
15:00	32	38%	37,9	19%	60,9	2,2%	72	5,9	20,4	23	79,6	28,9	100
16:00	32,6	44%	35,4	24%	60,7	2,2%	71	2,8	10	25,3	90	28,1	100
17:00	32,4	48%	35,8	30%	62,4	2,7%	80	3,4	11,3	26,6	88,7	30	100
18:00	31,8	55%	34,5	39%	62,8	2,7%	82	2,7	8,7	28,3	91,3	31	100
Prom.	31,7	51,8%	36,3	30,7%	62,1	2,3%	78,1	4,6	15,4%	25,8	84,6	30,4	100

CUADRO No. 18

Entalpías (Btú/lb aire seco), humedad relativa (%), contenido de humedad (Grains/lb aire seco)

Fecha 81/7/23	t_o		t_1		t_2		Contenido de humedad	$h_1 - h_o$		$h_2 - h_1$		$h_2 - h_o$	
Hora	h_o	(HR)	h_1	(HR)	h_2	(HR)	Grains/lb	abs	%	abs	%	abs	%
17:00	32,1	98%	33,9	84%	66,7	3,0%	102	1,8	5,2	32,8	94,8	34,6	100
8:00	33,5	98%	35,3	76%	67,7	3,5%	107	1,8	5,3	32,4	94,7	34,2	100
9:00	35,1	98%	37,8	69%	69,3	4.0%	115	2,7	8	31,5	92	34,2	100
10:00	35,3	92%	38,4	60%	68,9	4,0%	113	3,1	9,2	30,5	90,8	33,6	100
11:00	35,1	70%	38,7	44%	66,9	3,0%	103	3,6	11,3	28,2	88,7	31,8	100
12:00	36	67%	39,8	40%	67,5	3,5%	106	3,8	12,1	27,7	87,9	31,5	100
13:00	34,1	65%	37,6	40%	65,6	2,9%	96	3,5	11,1	28	88,9	31,5	100
14:00	34,1	59%	37,5	38%	65	2,8%	93	3,4	11	27,5	89	30,9	100
15:00	34,6	57%	38,6	34%	65,2	2,9%	94	4	13,1	26,6	86,9	30,6	100
16:00	34,8	62%	38,7	39%	65,9	3,0%	98	3,9	12,5	27,2	87,5	31,1	100
17:00	36,4	75%	39.6	49%	68,5	3,5%	111	3,2	10	28,9	90	32,1	100
18:00	34,9	75%	37,1	56%	67,3	3,0%	105	2,2	6,8	30,2	92,2	32,4	100
Prom.	34,7	76,3%	37,8	52,4%	67	3,3%	103,6	3,1	9,6%	29,2	90,4%	32,3	100%

5.2 EVALUACION DE DATOS

Como se expresó anteriormente, los períodos de prueba fueron dos. En el primer período se hicieron pruebas con una temperatura del aire de 65 grados C que fué lo originalmente propuesto. Sin embargo, como se puede observar en los cuadros correspondientes a este período, la humedad del grano disminuía muy lentamente. Así tenemos que al cabo de los cinco días de pruebas se pudo llegar a una humedad aceptable final de 7,33% en promedio. Para ello fué necesario recircular el cacao; esto es, lo secado en un día de pruebas, volverlo a secar al día siguiente y así sucesivamente, hasta lograr la humedad final deseada.

Durante el segundo período de pruebas, se reguló las resistencias de tal manera que nos den una temperatura de 90 grados C. Al tomar esta resolución se temió que esta temperatura, aparentemente excesiva, iba a cambiar las condiciones del grano: lo iba a tostar, ya que el cacao sometido a una temperatura superior a los 80 grados C comienza a sufrir este proceso. Sin embargo, se iniciaron las pruebas con los 90 grados C. Lo primero que se hizo fué medir la temperatura en varios puntos del receptáculo para

ver si realmente había una temperatura superior a los 80 grados C en el cacao. Pero no fué así; la temperatura del aire al entrar en contacto con esta gran masa de cacao húmedo descendía a los 60 o 70 grados C, produciéndose una gran acción de secado y sin alterar las condiciones del grano.

Se procedió, entonces, a hacer las pruebas con los resultados expuestos. Lógicamente, al variar la temperatura, subiéndola considerablemente, la proporción de energía aprovechada del sol con respecto a la total utilizada para el secado del producto será menor como lo podremos apreciar.

5.2.1 EVALUACION DE DATOS DEL PRIMER PERIODO DE PRUEBAS

Para la evaluación vamos a analizar lo siguiente: primero, la cantidad de energía requerida para lograr nuestro propósito, esto es, secar el cacao a los niveles aceptables para el proceso; y, en segundo término, el análisis de la eficiencia del colector solar utilizado.

5.2.1.1 CALCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGIA UTILIZADA PARA SECAR EL CACAO

Según los cuadros, numerados del 1 al 5, podemos ver que se llegó a la humedad final deseada, o sea, aproximadamente 7 %. Si sabemos que la

cantidad de cacao secado desde el primer día fué de 23 kg/hr y al cabo de este día se recicló hasta obtener la humedad deseada, la cantidad total secada fué de

$$m_c = 23 \text{ kg/hr} \times 11 \text{ hr} = 253 \text{ kg de cacao}$$

y que de acuerdo a los cuadros numerados del 10 al 14 los promedios de energía absorbida son:

Cuadro # 10 = 20,3 Btu/lb aire seco
" # 11 = 19,5 "
" # 12 = 19,7 "
" # 13 = 20,9 "
" # 14 = 22,3 "

Por lo tanto,

$$\text{PROMEDIO} = (20,5+19,5+19,7+20,9+22,3)/5$$
$$= 20,5 \text{ Btu/lb aire seco}$$

Ahora bién,

$$20,5 \text{ Btu/lb} \times 2,2 \text{ lb/kg} \times 1,055 \text{ kJ/Btu} =$$
$$= 47,6 \text{ kJ/kg aire seco}$$

Además, sabemos que se uso un flujo de aire

contínuo de:

$$\dot{m}_a = 504 \text{ kg/hr}$$

Por lo tanto, la cantidad de energía utilizada sabiendo que se han trabajado 11 horas diarias por cinco días, o sea, 55 horas, será,

$$E = 504 \text{ kg/hr} \times 55 \text{ hr} \times 47{,}6 \text{ kJ/kg}$$

$$E = 1'319.472 \text{ kJ}$$

Por lo tanto, hemos utilizado,

$$q_c = 1'319.472 \text{ kJ}/253 \text{ kg} = 5.215 \text{ kJ/kg cacao}$$

que nos dá una eficiencia muy baja de acuerdo a lo propuesto en el capítulo III, acápite 3.2, en la que se esperaba que fuese del orden de los 1.272,44 kJ/kg de cacao. Esto ya se trató al inicio del presente capítulo y fué lo que indujo a hacer el segundo período de pruebas variando las temperaturas.

5.2.1.2 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR

Para analizar el aprovechamiento de la energía solar a través del colector que se construyó

tomaremos el máximo, mínimo y promedio de los cinco días en que se hicieron este grupo de pruebas. Luego, se comparará con los datos correspondientes de radiación global obtenidos del Apéndice B que fué tomado del laboratorio de Energía Solar de la ESPOL.

$$(h_1 - h_o)_{máx} = (5,4 \text{ Btu/lb})(2,2 \text{ lb/kg})(0,252 \text{ kcal/Btu})$$
$$= 2,99 \text{ kcal/kg aire}$$

$$(h_1 - h_o)_{mín} = (2,9 \text{ Btu/lb})(2,2 \text{ lb/kg})(0,252 \text{ kcal/Btu})$$
$$= 1,61 \text{ kcal/kg aire}$$

$$(h_1 - h_o)_{prom} = (3,94 \text{ Btu/lb})(2,2 \text{ lb/kg})(0,252 \text{ kcal/Btu})$$
$$= 2,18 \text{ kcal/kg aire}$$

Ahora bién, como el flujo de masa de aire fué de 504 kg/hr tenemos,

$$(Ea)_{máx} = (2,99 \text{ kcal/kg})(504 \text{ kg/hr})(11 \text{ hr}) = 16.576,56 \text{ kcal}$$
$$(Ea)_{mín} = (1,61 \text{ kcal/kg})(504 \text{ kg/hr})(11 \text{ hr}) = 8.925,84 \text{ kcal}$$
$$(Ea)_{prom} = (2,18 \text{ kcal/kg})(504 \text{ kg/hr})(11 \text{ hr}) = 12.085,92 \text{ kcal}$$

Estos datos corresponden, entonces, a:

$(Ea)_{máx}$ = 16.576,56 kcal (Cuadro # 11, 81/07/07)

$(Ea)_{mín}$ = 8.925,84 kcal (Cuadro # 14, 81/07/10)

$(Ea)_{prom}$ = 12.085,92 kcal (Cuadros # 10 al # 14, 81/07/06 al 81/07/10)

$\frac{12.085,92}{63072,28} \times 100 = 19,16\%$

Tomando los datos del Apéndice B para esas fechas, tenemos,

81/07/06 = 0,2653 kcal/cm²

81/07/07 = 0,3765 kcal/cm²

81/07/08 = 0,3759 kcal/cm²

81/07/09 = 0,2917 kcal/cm²

81/07/10 = 0,1771 kcal/cm²

por lo tanto, el promedio será,

prom=(0,2653+0,3765+0,3759+0,2917+0,1771)/5=0,2973 kcal/cm²

Considerando que el colector solar utilizado tiene una capacidad de concentración de 10, de acuerdo a D. Bevill y H. Brandt, y que su superficie es de 7.200 cm², la superficie para el cálculo será de,

7.200 cm² x 10 = 72.000 cm²

Por lo tanto, tendremos,

-Máxima radiación incidente

0,3765 kcal/cm² x 72.000 cm² = 27.108 kcal

-Mínima radiación incidente

0,1771 kcal/cm² x 72.000 cm² = 12.751,2 kcal

-Radiación incidente promedio

$0,2973 \text{ kcal/cm}^2 \times 72.000 \text{ cm}^2 = 21.405,6 \text{ kcal}$

Comparando la radiación incidente con la energía cedida al aire determinamos la eficiencia,

	Energía absorbida por el aire (kcal)	Energía incidente (kcal)	Eficiencia del colector
MAX	16.576,56	27.108,0	61,2 %
MIN	8.925,84	12.751,2	70,0 %
PROM	12.085,92	21.405,6	56,5 %

Que está dentro de los parámetros previstos. Las variaciones de la eficiencia se deben, principalmente, al viento. Es por esto que no debe sorprender que cuando fué menor la radiación incidente, fué mayor la eficiencia ya que fué un día muy nublado, pero, con muy poco viento.

5.2.2 EVALUACION DE DATOS DEL SEGUNDO PERIODO DE PRUEBAS

El segundo período de pruebas se analizará en forma similar al primer período.

5.2.2.1 CALCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGIA UTILIZADA PARA SECAR EL CACAO

Nos remitimos, entonces, a los cuadros que van del # 6 al # 9. Ahora bién, tenemos que para cada día se logró secar hasta 80 kg/hr de cacao y se obtuvo en el mismo día la humedad deseada, esto es, 7 %. Los datos de acuerdo a los cuadros que van del # 15 al # 18 para la cantidad de energía requerida son:

(81/07/20) Cuadro # 15 = 30,5 Btu/lb aire

(81/07/21) Cuadro # 16 = 29,9 Btu/lb aire

(81/07/22) Cuadro # 17 = 30,4 Btu/lb aire

(81/07/23) Cuadro # 18 = 32,3 Btu/lb aire

PROMEDIO = (30,5 + 29,9 + 30,4 + 32,3)/4 = 30,8 Btu/lb aire

30,8 Btu/lb x 2,2 lb/kg x 1,055 kJ/Btu = 71,5 kJ/kg aire

El flujo de masa de aire fué,

$$\dot{m} = 504 \text{ kg/hr}$$

Por lo tanto, trabajando 11 horas diarias por 4 días, o sea, 44 horas,

$$E = 504 \text{ kg/hr} \times 44 \text{ hr} \times 71,5 \text{ kJ/kg} = 1'585.584 \text{ kJ}$$

La cantidad total de cacao secado fué de:

$$m_c = 80 \text{ kg/hr} \times 11 \text{ hr/día} \times 4 \text{ días} = 3.520 \text{ kg de cacao}$$

Por lo tanto,

$$q_c = \frac{1'585.584 \text{ kJ}}{3.520 \text{ kg}} = 450,45 \text{ kJ/kg de cacao}$$

Que nos dá, inclusive, un notable incremento en la eficiencia del secador de acuerdo a lo propuesto que era de 1272,4 kJ/kg de cacao.

5.2.2.2 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR

Siguiendo el procedimiento utilizado en el caso anterior, tenemos,

$(h_r - h_o)_{máx} = 5,4 \text{ Btu/lb} \times 2,2 \text{ lb/kg} \times 0,252 \text{ kcal/Btu} = 2,99 \text{ kcal/kg aire}$

$(h_1 - h_o)_{mín} = 3,1 \text{ Btu/lb} \times 2,2 \text{ lb/kg} \times 0,252 \text{ kcal/Btu} = 1,72 \text{ kcal/kg aire}$

$(h_1 - h_o)_{prom} = 4,43 \text{ Btu/lb} \times 2,2 \text{ lb/kg} \times 0,252 \text{ kcal/Btu} = 2,46 \text{ kcal/kg aire}$

Considerando que se mantuvo el flujo de masa de aire de $\dot{m} = 504$ kg/hr,

$(Ea)_{máx} = (2,99 \text{ kcal/kg})(504 \text{ kg/hr})(11 \text{ hr}) = 16.576,56 \text{ kcal}$

$(Ea)_{mín} = (1,72 \text{ kcal/kg})(504 \text{ kg/hr})(11 \text{ hr}) = 9.535,68 \text{ kcal}$

$(Ea)_{prom} = (2,46 \text{ kcal/kg})(504 \text{ kg/hr})(11 \text{ hr}) = 13.638,24 \text{ kcal}$

Estos valores corresponden a los cuadros # 16 (81/07/21), # 18 (81/07/23) y el promedio a los cuadros # 15 al # 18 (81/07/20 al 81/07/23), respectivamente. Ahora bién, tomando los datos del Apéndice B, tenemos,

81/07/20 = 0,3065 kcal/cm²

81/07/21 = 0,4101 kcal/cm²

81/07/22 = 0,4157 kcal/cm²

81/07/23 = 0,2007 kcal/cm²

que son los valores de la energía incidente para estas fechas. Ahora, el promedio será:

prom = (0,3065+0,4101+0,4157+0,2007+)/4 = 0,3333 kcal/cm²

Tomando, entonces, la superficie de incidencia efectiva del colector que es de 72.000 cm², tenemos,

-Máxima radiación incidente

0,4101 kcal/cm² x 72.000 cm² = 29.527,2 kcal

-Mínima radiación incidente

0,2007 kcal/cm² x 72.000 cm² = 14.450,4 kcal

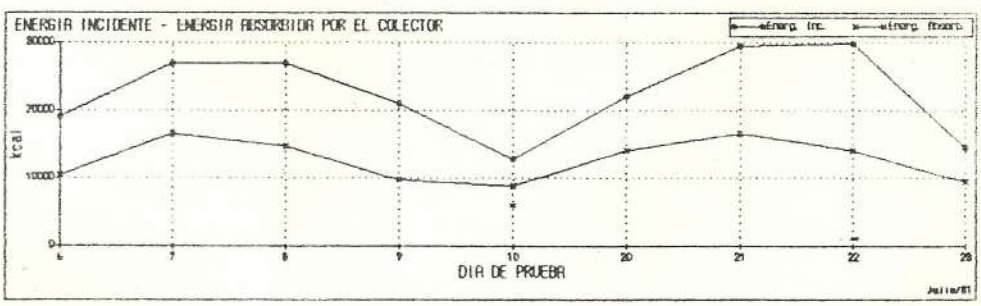
-Radiación incidente promedio

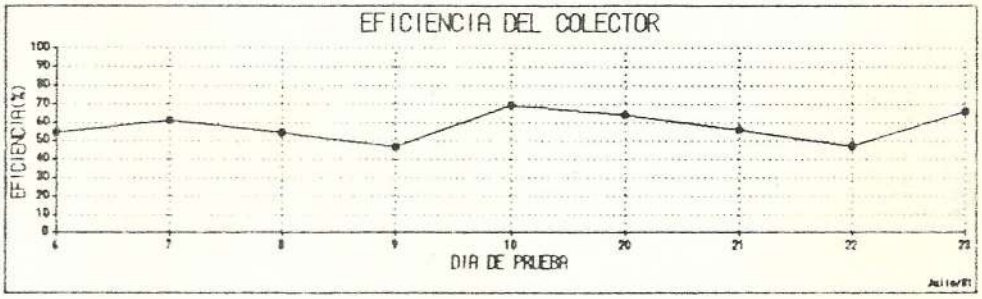
0,3333 kcal/cm² x 72.000 cm² = 23.997,6 kcal

En base a estos datos procedemos a calcular la eficiencia,

	Energía absorbida por el aire (kcal)	Energía incidente (kcal)	Eficiencia del colector
MAX	16.576,56	29.527,2	56,1 %
MIN	9.535,68	14.450,4	66,0 %
PROM	13.638,24	23.997,6	55,7 %

Que nuevamente están dentro de los parámetros previstos. Hay que insistir, además, en la enorme influencia que tiene el factor viento en el comportamiento del colector. Es este el motivo, por el cual, a pesar de que el día de mayor incidencia solar fué el 22 de Julio, el día de mayor energía absorbida fué el 21, y como en el caso anterior, la máxima eficiencia del colector se obtuvo con la mínima absorción de energía en valor absoluto.





CAPITULO VI

GENERALIZACION

6.1 GENERALIZACION DEL PROYECTO PARA LA APLICACION INDUSTRIAL

Para la aplicación industrial del presente proyecto hay, en primer lugar, que determinar el volúmen necesario de cacao que para una compañía de elaborados de cacao es normal en sus operaciones. De acuerdo a averiguaciones realizadas se considera un volúmen suficiente alrededor de 2.000 a 5.000 kg de cacao por hora. Para nuestros cálculos nos basaremos en un secador de 3.000 kg/hr de producción.

6.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR

Manteniendo los criterios expuestos en el diseño del modelo experimental, tendremos que,

$$\dot{m}_c = 3.000 \text{ kg/hr}$$

$$\rho_c = 0,55 \text{ kg/dm}^3 = 550 \text{ kg/m}^3$$

Luego,

$$v_{cs} = 5 \text{ veces el volúmen horario}$$

y, entonces,

$$\dot{v}_{cs} = \frac{3.000 \text{ kg/hr}}{550 \text{ kg/m}^3} = 5,46 \text{ m}^3/\text{hr de cacao}$$

Por lo tanto,

$$v_{cs} = 5,46 \times 5 = 27,27 \text{ m}^3$$

Ahora, si de acuerdo al diseño experimental este volúmen representa, aproximadamente, el 95% del volúmen total del secador, ya que hay que disminuir el volúmen correspondiente de los difusores de aire en forma de "V" invertida y agregar el volúmen superior e inferior de exceso, el volúmen del secador será,

$$v_{cs} = 27,27 \text{ m}^3/0,95 = 28,7 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, podríamos tener un secador con las siguientes medidas del receptáculo: 1,9 m x 1,9 m de base y 8 m de alto que nos dá un volúmen de 28,88 m^3. En estas dimensiones podrían haber 6 difusores en "V" inverida por nivel y 60 niveles. Los difusores tendrían 60° y 150 mm por lado y distanciados un vértice del otro por 300 mm.

Para una operación normal de este secador sería necesario un silo de almacenamiento para alimentación y otro para el cacao ya seco, con volúmenes de, por lo menos, cinco veces la capacidad del secador.

El sistema de descarga puede ser de paletas o estrella giratoria que deposite en forma contínua el cacao en la tolva inferior como se puede ver en la figura # 11.

Además, será necesario preveer un sistema doble de ventiladores, o sea, un ventilador que force al aire a entrar en el secador y otro que haga succión en el plenum de salida. La capacidad del ventilador de entrada de aire caliente será de:

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c} = \frac{504 \text{ kg/hr}}{80 \text{ kg/hr}} = 6,3 \text{ kg aire/kg cacao}$$

Por lo tanto,

$$\dot{m}_a = \dot{m}_c \times 6,3 \text{ kg aire/kg cacao}$$

$$\dot{m}_a = 3.000 \text{ kg cacao/hr} \times 6,3 \text{ kg aire/kg cacao}$$

$$\dot{m}_a = 18.900 \text{ kg aire/hr}$$

Si la densidad del aire a esta temperatura, o sea, los noventa grados C, es de,

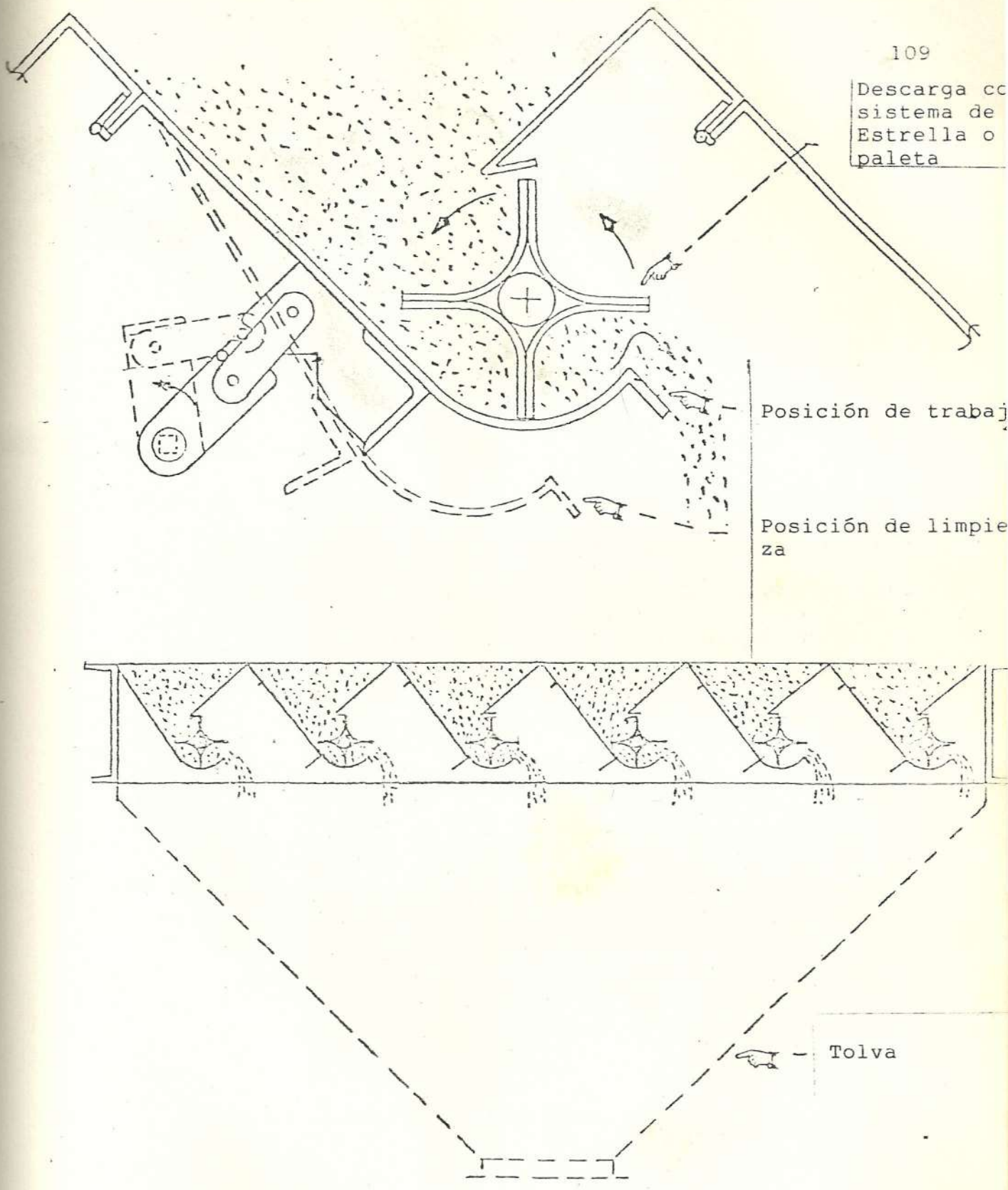


FIGURA # 11

Descarga del cacao con sistema de Estrella o Paleta giratoria

$$\rho_a = \frac{p}{RT} = \frac{10.356,8 \text{ kg/m}^2}{(29,187 \text{ kg-m/kg-}^\circ\text{K})(363,15 \ ^\circ\text{K})}$$

$$\rho_a = 0,98 \text{ kg/m}^3$$

entonces,

$$Q_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} = \frac{18.900 \text{ kg/hr}}{0,98 \text{ kg/m}^3} = 19.285,71 \text{ m}^3\text{/hr}$$

El ventilador de extracción deberá tener, aproximadamente, un 10% más de capacidad para crear un vacío en el interior del receptáculo del secador y evitar que el aire caliente escape de dicha cámara.

6.1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL COLECTOR SOLAR

Según los datos obtenidos en el capítulo anterior tenemos que la cantidad de energía requerida por cantidad de cacao a secarse es de:

$$q_c = 450,45 \text{ kJ/kg de cacao}$$

Por lo tanto, si lo que vamos a procesar es,

$$\dot{m}_c = 3.000 \text{ kg/hr}$$

entonces, la cantidad de energía requerida será,

$$450,45 \text{ kJ/kg} \times 3.000 \text{ kg/hr} = 1'351.350 \text{ kJ/hr}$$

Ahora bién, de acuerdo al modelo experimental hemos obtenido alrededor de un 15% de aporte de energía por parte del colector solar. En cifras sería para este caso:

$$1'351.530 \text{ kJ/hr} \times 0,15 = 202.702,5 \text{ kJ/hr}$$

Si sabemos que la unidad experimental colectó en las 44 horas de prueba una cantidad de,

$$E = 1'585.584 \text{ kJ}$$

entonces,

$$\dot{E} = \frac{1'585.584 \text{ kJ}}{44 \text{ hr}} = 36.036 \text{ kJ/hr}$$

y que de esto el 15% corresponde al colector solar, entonces,

$$\dot{E}_{col} = 36.036 \text{ kJ/hr} \times 0,15 = 5.405,4 \text{ kJ/hr}$$

Por lo tanto, el número de colectores solares requeridos será de:

$$\frac{202.702,5 \text{ kJ/hr}}{5.405,4 \text{ kJ/hr-unidad}} = 37,5 \text{ unidades}$$

Que lo podríamos aproximar, para redondear números, a 38 unidades.

Según se estableció anteriormente, el flujo de aire necesario es de,

$$\dot{m}_a = 18.900 \text{ kg/hr}$$

Si tenemos 38 colectores, por cada colector pasarán,

$$\dot{m}_a = (18.900 \text{ kg/hr})/38 = 497,37 \text{ kg/hr}$$

que es ligeramente inferior a los 504 kg/hr establecidos en las pruebas, por lo que podemos asumir resultados similares.

6.2 ANALISIS ECONOMICO

Para el análisis económico consideraremos los siguientes factores:

1. Costo de construcción e instalación del sistema de colectores solares.

2. Costo de funcionamiento de un secador mediante sistema convencional de energía, escogiendo para

ello el más empleado, comunmente, que es un sistema de calemtamiento mediante un intercambiador de calor con quemadores de combustible diesel. Estos datos se han tomado de un modelo comercial existente y de comprobada eficiencia y reputación.

3. El ahorro de energía, traducido a costo, que representa la instalación del sistema de empleo de energía solar versus el costo establecido en el primer punto.

6.2.1 COSTO DE CONSTRUCCION E INSTALACION DEL SISTEMA DE COLECTORES SOLARES

Materiales		
Aletas de aluminio		45.600,oo
Vidrio 4 mm de espesor		29.100,oo
Estructura metálica de colectores		386.300,oo
Material aislante		33.200,oo
Ductos		138.000,oo
Mano de obra		
600 horas-hombre		42.000,oo
Dirección Técnica		100.000,oo
TOTAL	s/.	774.200,oo

6.2.2 COSTO DE FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR CON COMBUSTIBLE DIESEL

El valor calorífico del diesel es, aproximadamente, de 140.360 kJ/gal. Por lo tanto, si necesitamos para nuestro propósito 1'351.350 kJ/hr tendremos que:

de gal/hr=(1'351.350 kJ/hr)/(140.360 kJ/gal)= 9,6 gal/hr

Según datos de Aeroglide Corporation que es la firma constructora del intercambiador en que hemos basado nuestros cálculos, se trabaja con un 80% de eficiencia, por lo tanto, el combustible real necesario es de,

(9,6 gal/hr)/0,8 = 12 gal/hr

Ahora bién, si consideramos que el precio del galón de diesel es de s/. 21,oo, entonces, el costo/hr de combustible será,

(12 gal/hr)(s/. 21/gal) = s/. 252/hr

Las industrias de cacao, normalmente, planifican un trabajo de 24 horas diarias durante 345 días al año (15 días para mantenimiento y limpieza). Por lo tanto,

(24 hr/día)(345 días/año)(s/. 252/hr)= s/. 2'086.560/año

6.2.3 AHORRO CON LA INCLUSION DE COLECTORES SOLARES

Si se ha establecido, previamente, que la energía solar puede asumir, en promedio, un 15% de la energía necesaria, tenemos que el ahorro anual sería de,

(s/. 2'086.560/año)(0,15) = s/. 312.984/año

Si a esto agregamos que en nuestra ciudad, durante el año, el promedio de días en que hay radiación solar utilizable es de, aproximadamente, un 20% menos que el promedio obtenido en las pruebas, tendremos que el ahorro real será de,

(s/. 312.984/año)(0,8) = s/. 250.387,20/año

Ahora bién, considerando que la inversión inicial para la instalación del sistema de energía solar es de s/. 774.200.oo y la ley permite una amortización anual del 10% en diez años plazo, tenemos, entonces que el costo anual del sistema de energía solar es de,

s/. 774.200 x 0,1 = s/. 77.420,oo/año

Por lo tanto, el ahorro neto anual será de,

250.387,20 - 77.420,oo = s/. 172.967,20/año

que expresado en porcentaje representa un 8,29% de ahorro anual.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Según lo expuesto en el presente trabajo se demuestra que el sistema propuesto es técnicamente aplicable y económicamente factible. Aunque, en lo que se refiere a este último punto, la economía obtenida no es mayormente significativa, es indudable que ofrece una alternativa interesante ante la constante alza de precios de los combustibles tradicionales derivados del petróleo.

2.- Es recomendable insistir en que hay que dirigir esfuerzos hacia la investigación de aprovechamiento de la energía solar para mejorar aún más la eficiencia de colectores que darían como resultado un ahorro mayor en sistemas similares al presentado en esta obra.

A P E N D I C E S

APENDICE A

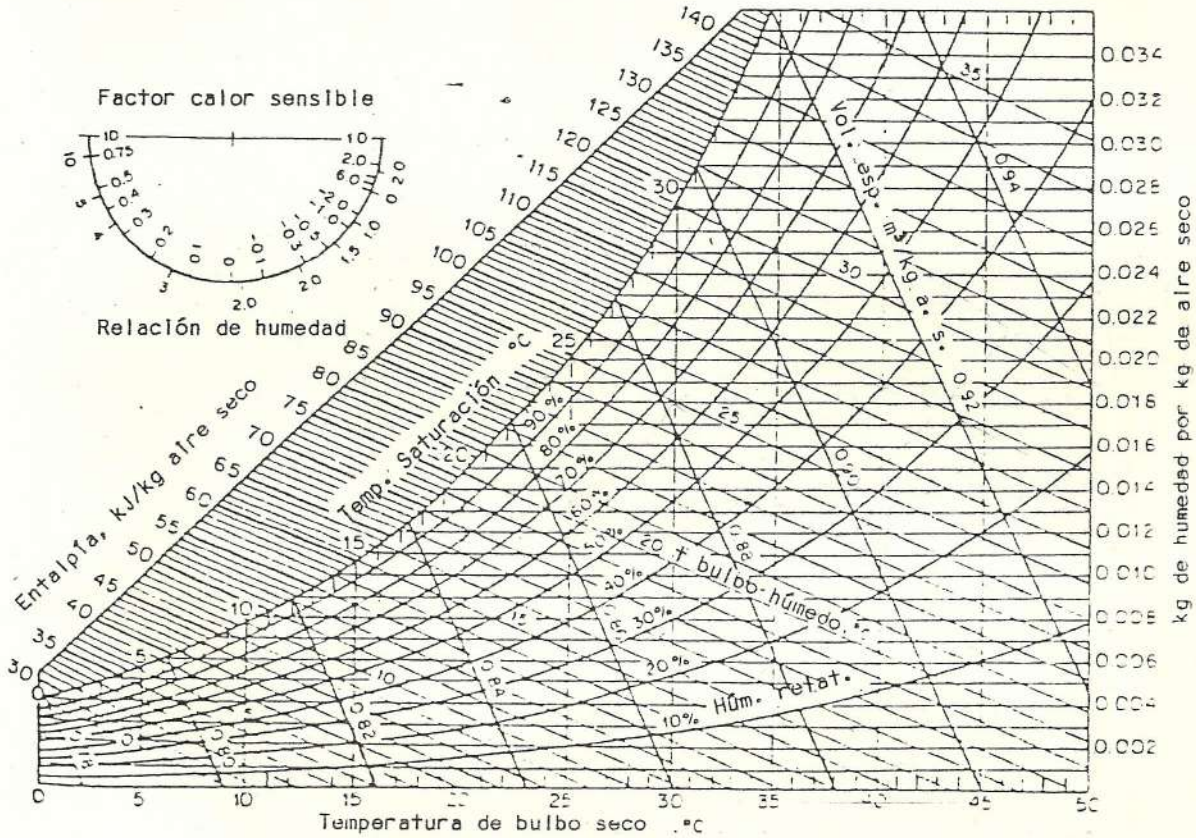
Cartas Psicrométricas

A I - Cartas psicrométricas para temperaturas normales en sistema ISO y sistema inglés de unidades.

A II - Carta psicrométrica para temperaturas medias.

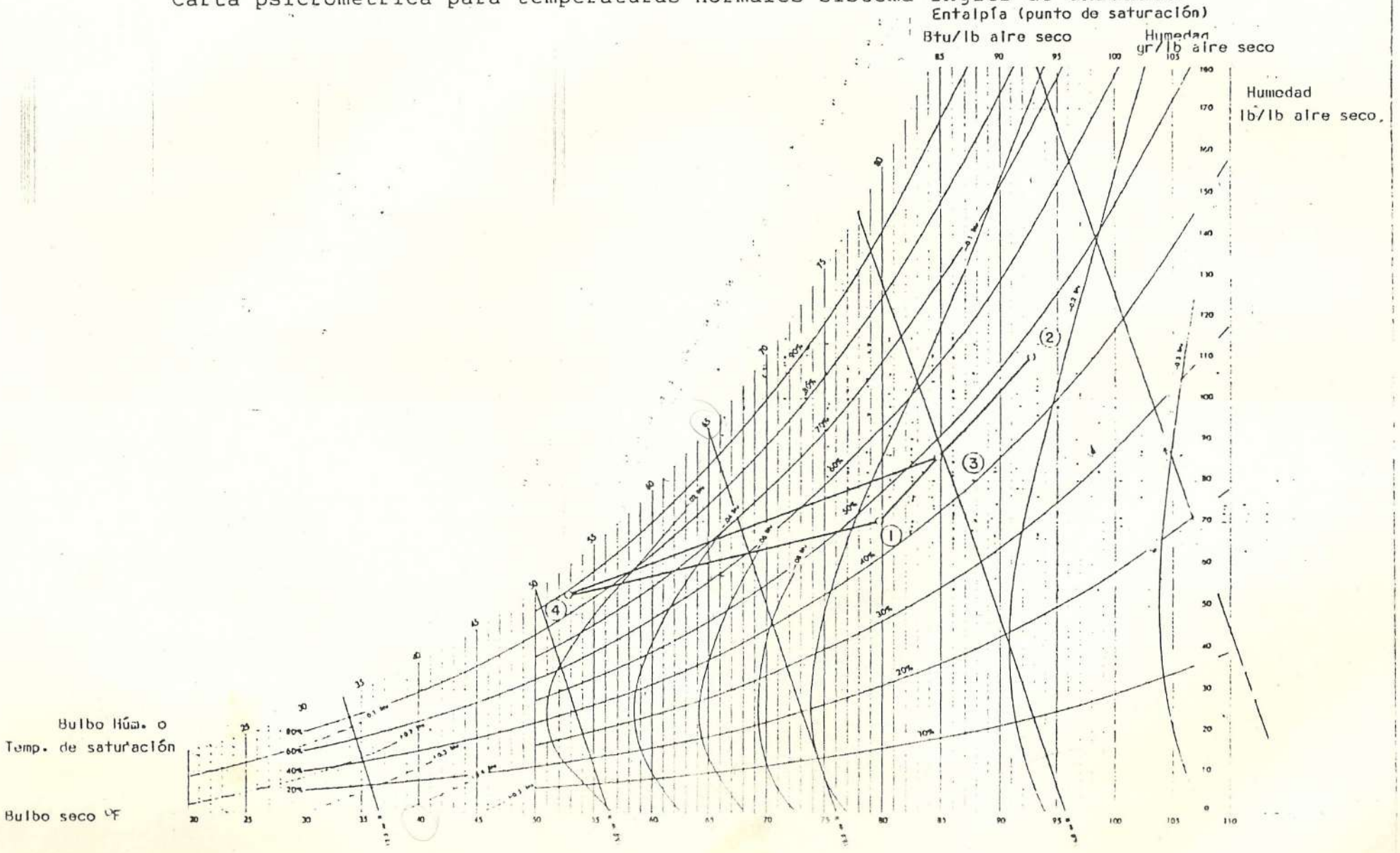
APENDICE A I

Carta psicrométrica para temperaturas normales, sistema ISO de unidades.



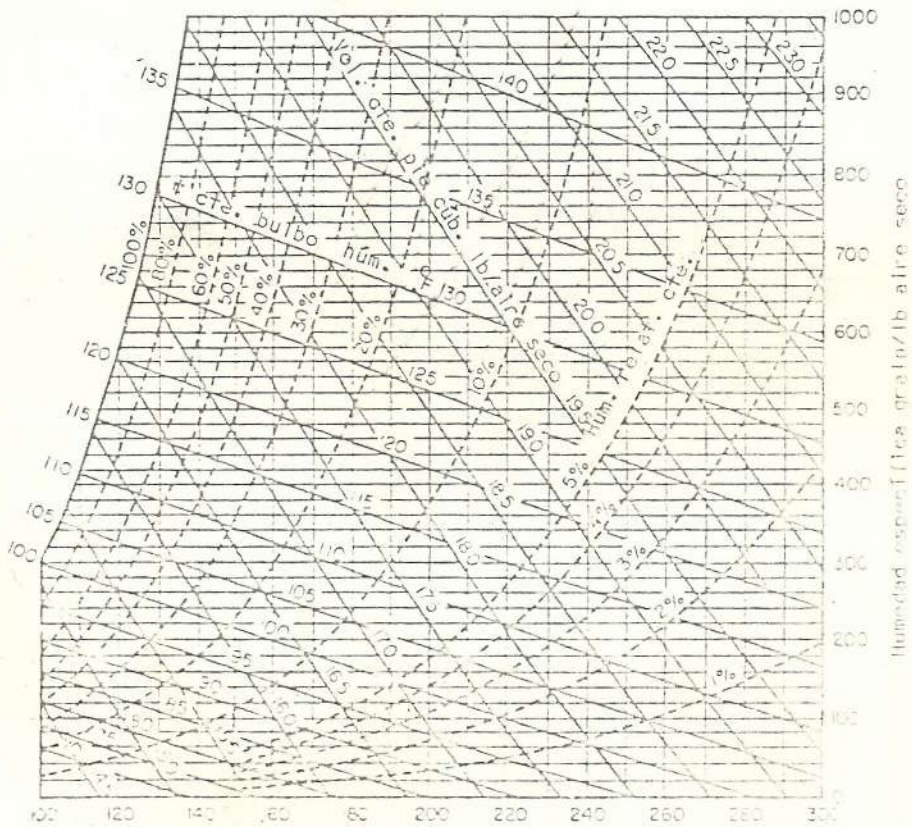
APENDICE A I

Carta psicrométrica para temperaturas normales sistema inglés de unidades.



APENDICE A II

Carta psicrométrica para temperaturas medias, sistema inglés de unidades.



APENDICE B

Datos de heliofanía, radiación solar, condiciones atmosféricas del día y tablas de conversión de unidades

B I - Heliofanía, períodos del 81/07/06 al 81/07/10 y del 81/07/20 al 81/07/23.

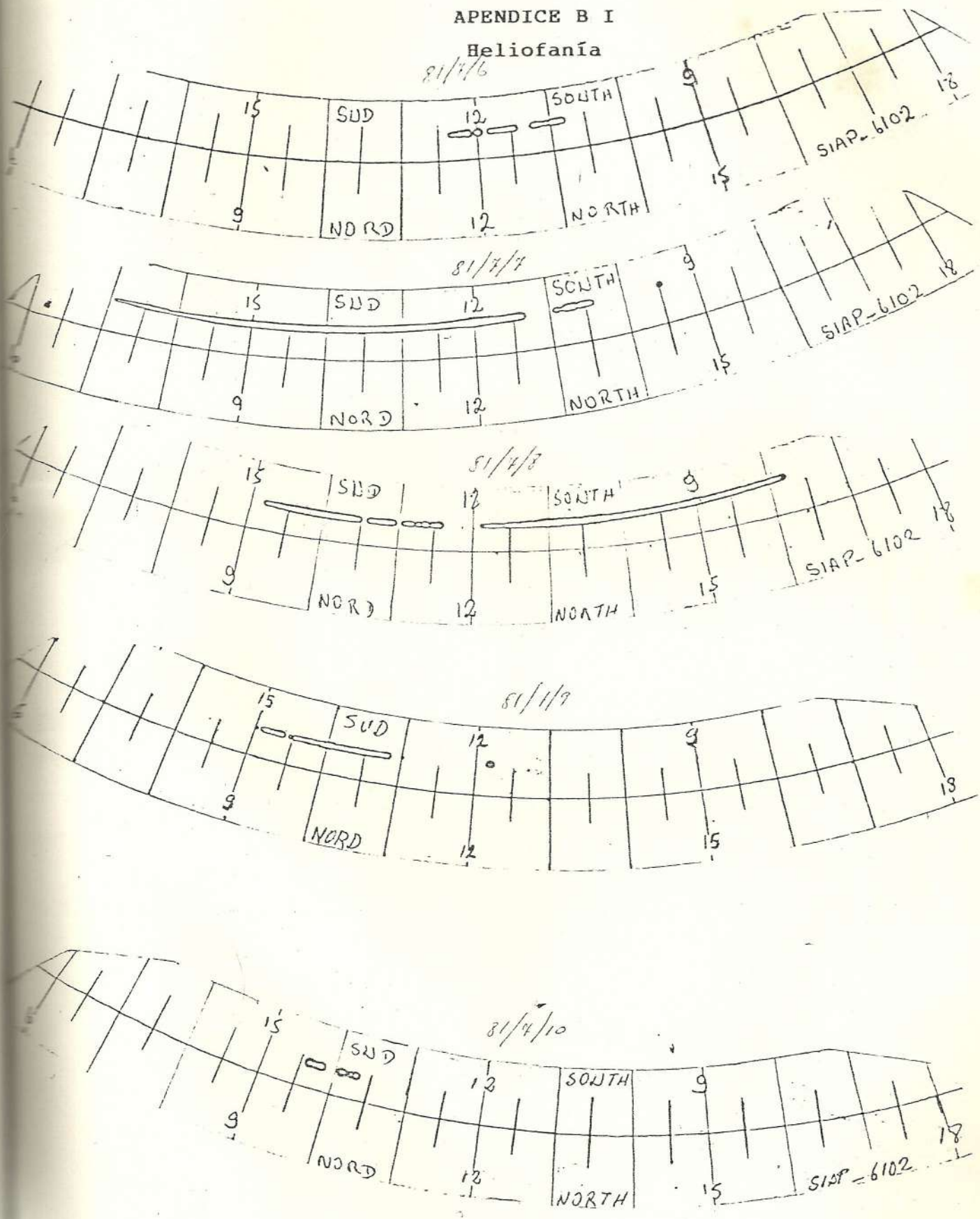
B II - Radiación solar del mes de Julio de 1.981.

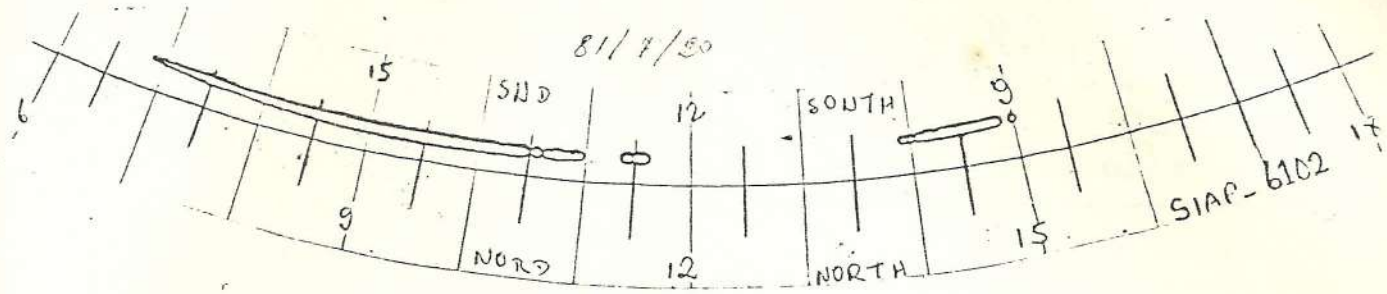
B III - Registros de condiciones atmosféricas del día, períodos del 81/07/06 al 81/07/10 y del 81/07/20 al 81/07/23.

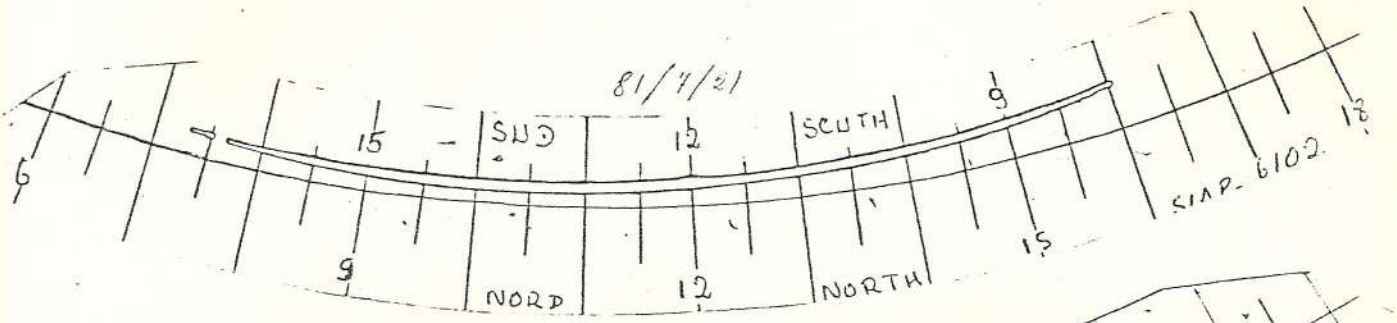
B IV - Tablas de conversión de unidades.

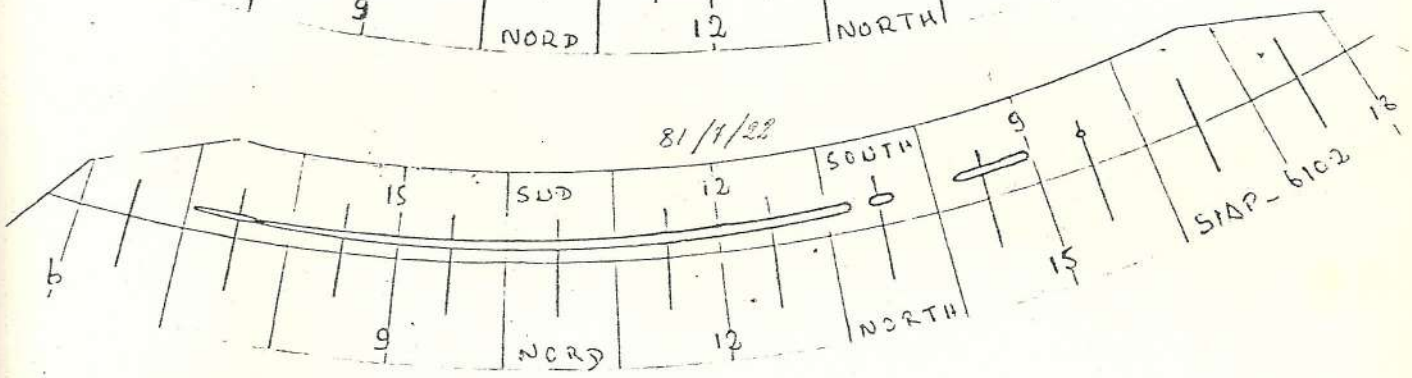
APENDICE B I

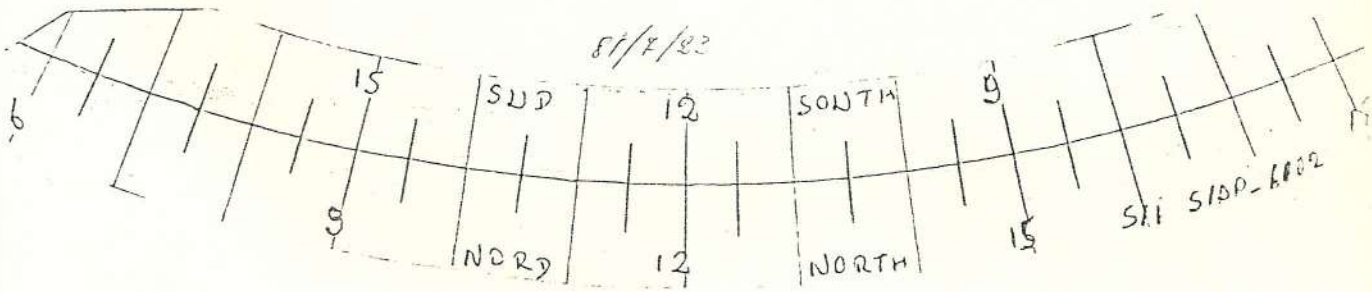
Heliofanía




81/7/20
6
15
SUD
12
SOUTH
9
17
9
NORD
12
NORTH
15
SIAP-6102


81/7/21
6
15
SUD
12
SOUTH
9
18
9
NORD
12
NORTH
15
SIAP-6102


81/7/22
6
15
SUD
12
SOUTH
9
18
9
NORD
12
NORTH
15
SIAP-6102


81/7/23
6
15
SUD
12
SOUTH
9
9
NORD
12
NORTH
15
SIAP-6102

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

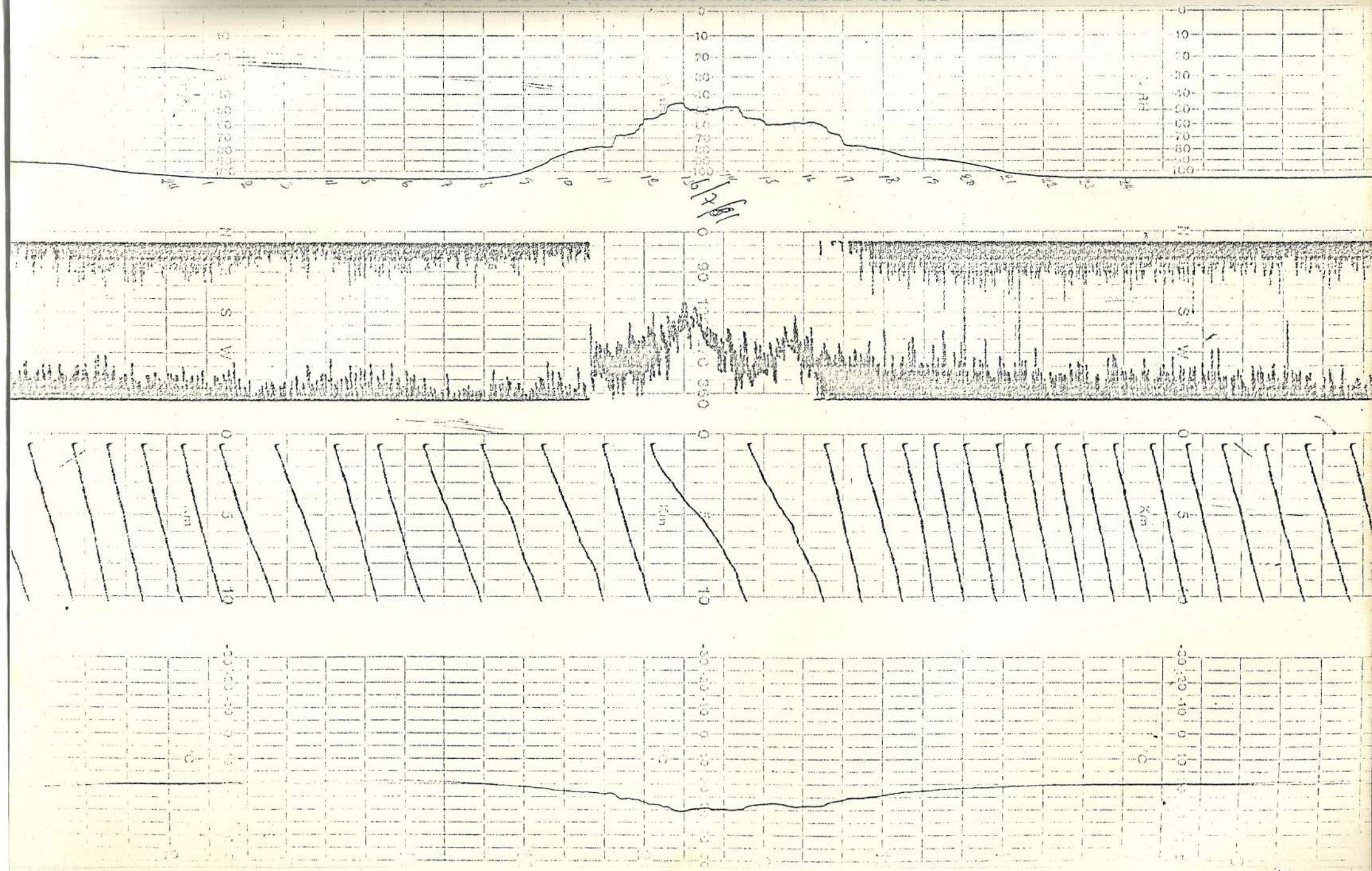
Mes: JULIO Año: 1981

CIUDAD DE GUAYAQUIL

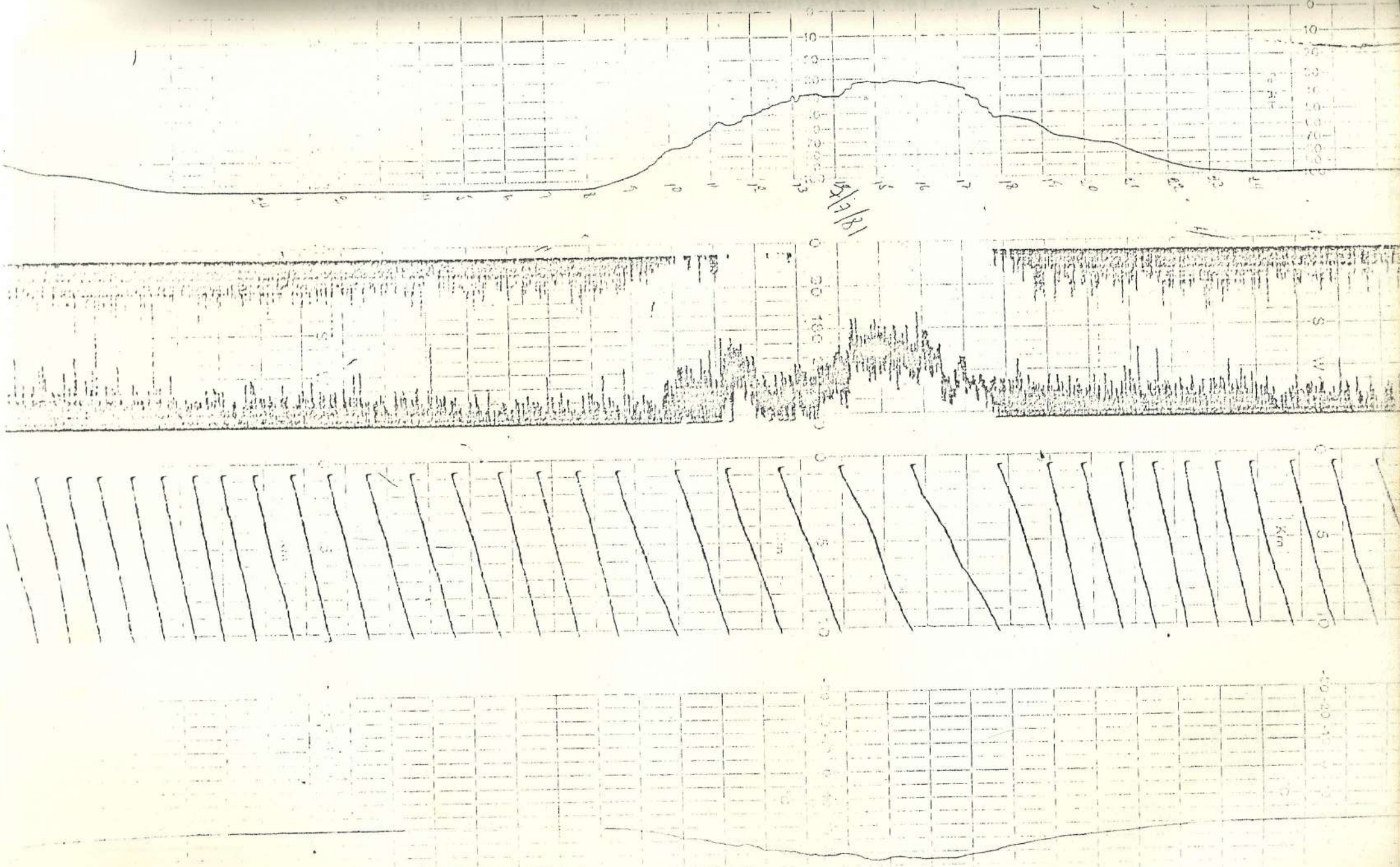
RADIACION SOLAR DESDE 7:00 A.M. – 6:00 P.M. 11 HORAS

DIAS	RADIACION GLOBAL BTU/pie²	RADIACION GLOBAL En cal./cm²	HELIOFANIA 12 HORAS: HORAS DECIMOS	HELIOFANIA 12 HORAS: PORCENTAJE
1	[illegible]	172.7	1.3	10.8
2	1369.9	372.3	2.2	
3	685.9	186.4	0.2	1.6
4	986.6	267.5		
5	947.6	257.5		
6	976.4	265.3	1.5	12.5
7	1385.3	376.5	6.2	51.6
8	1383.2	375.9	6.4	53.3
9	1073.2	291.7	1.8	15
10	654	177.1	0.7	5.8
11	976.4	265.3		
12	1462.6	397.5		
13	1520.2	413.2	7.4	61.6
14	1126.8	306.2	4.2	35
15	412.	111.9	—	—
16	540.7	146.9	—	—
17	664.3	180.5	0.2	1.6
18	762.2	207.1		
19	1024.8	278.5		
20	1127.8	306.5	5.6	46.6
21	1508.9	410.1	8.6	71.6
22	1529.5	415.7	7.5	62.5
23	738.5	200.7	—	
24				
25	1428.6	388.2		
26	587.1	159.5		
27	957.9	260.3	4.3	35.9
28	1189.6	323.3	3	25
29	796.1	216.4	0.4	3.3
30	743.6	202.1	1	8.3
31	757.9	219.1	2	16.6
Mes	30060.3	8170.3	64.5	537.5
Media	1002.	272.3	3.39	28.2
Máx.	1529.5	415.7	8.6	71.6
Mín.	412.	111.9	0.2	1.6
Númer d. días	30	30	19	19

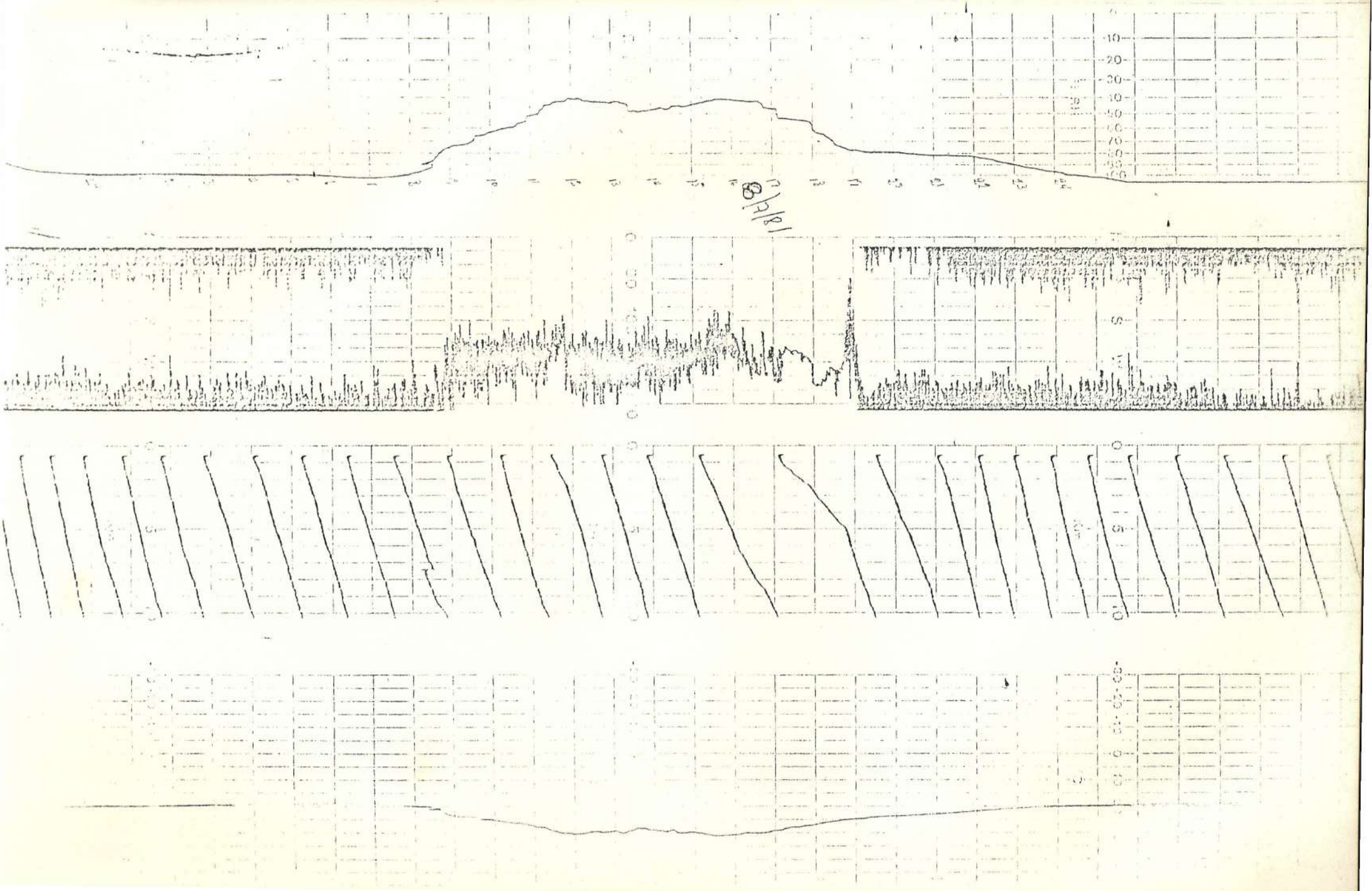
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



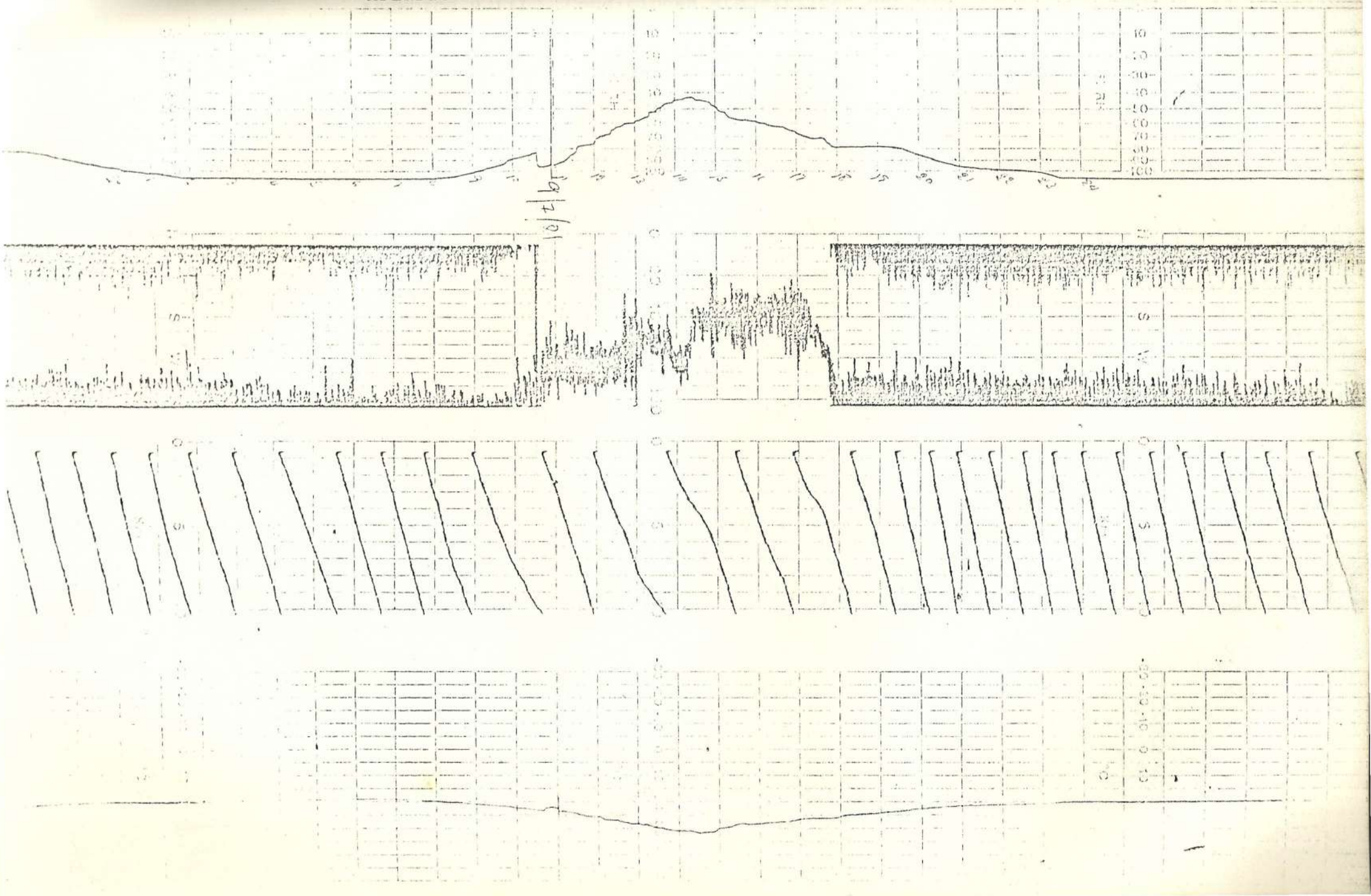
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



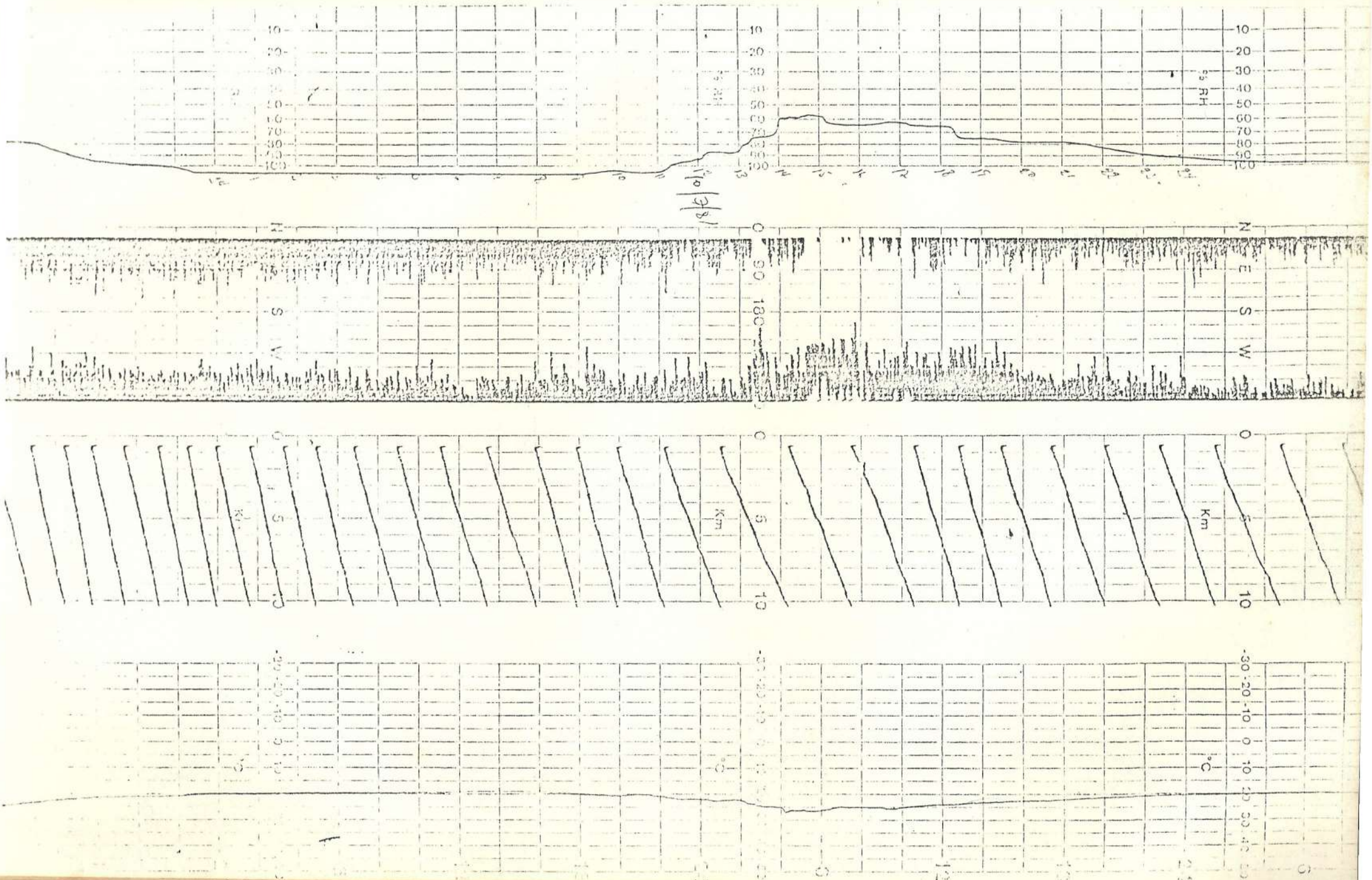
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



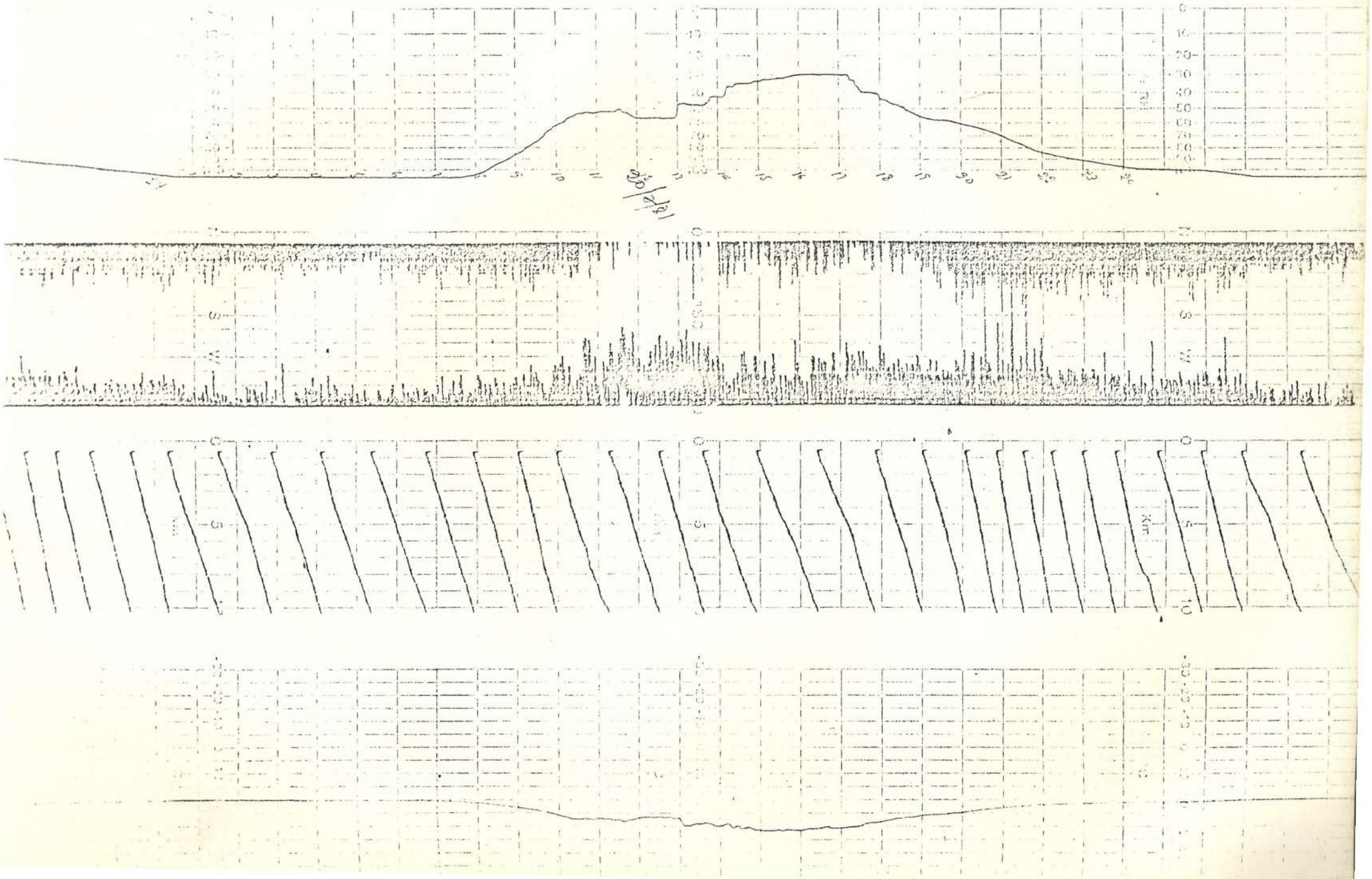
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



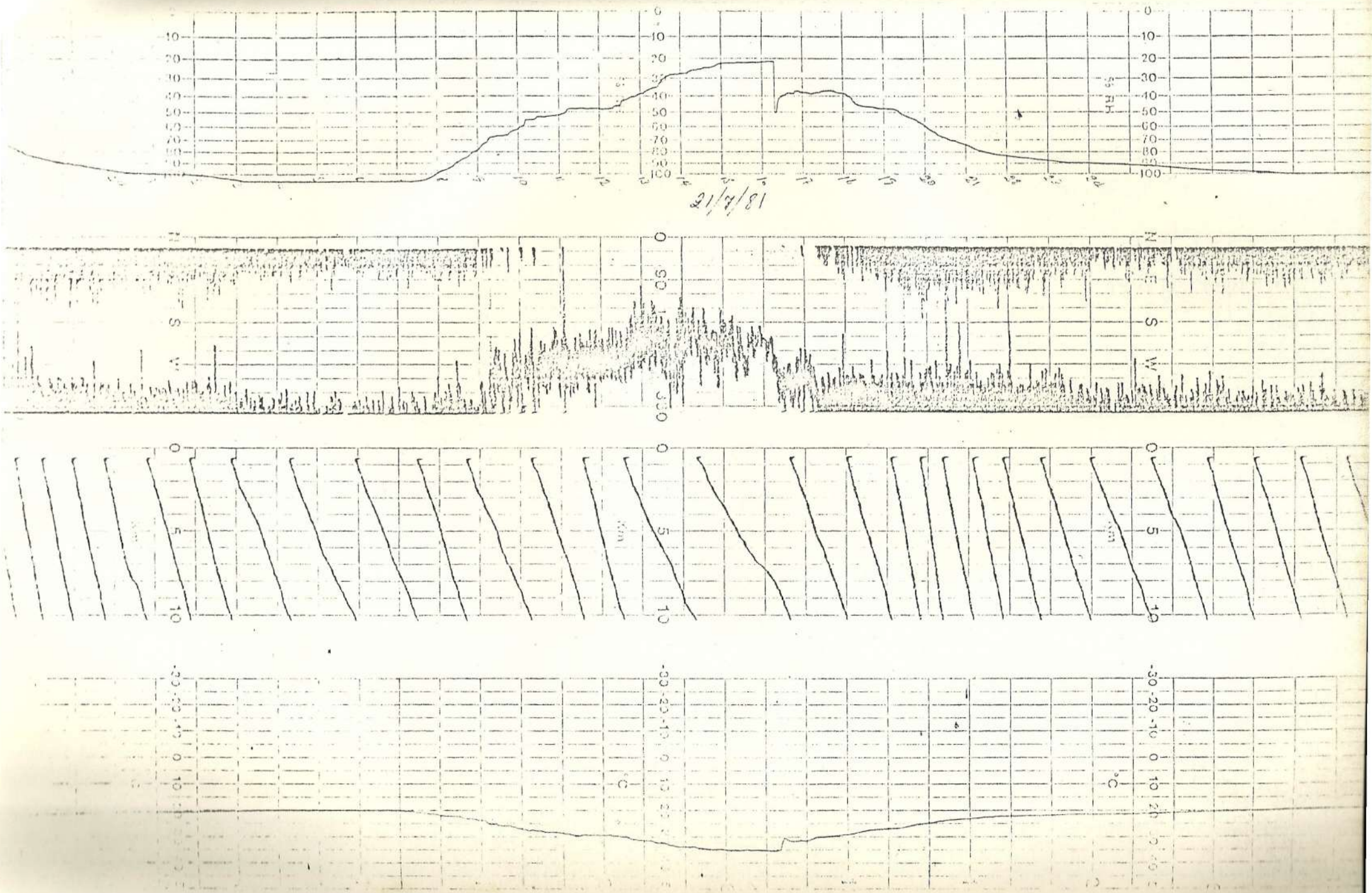
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



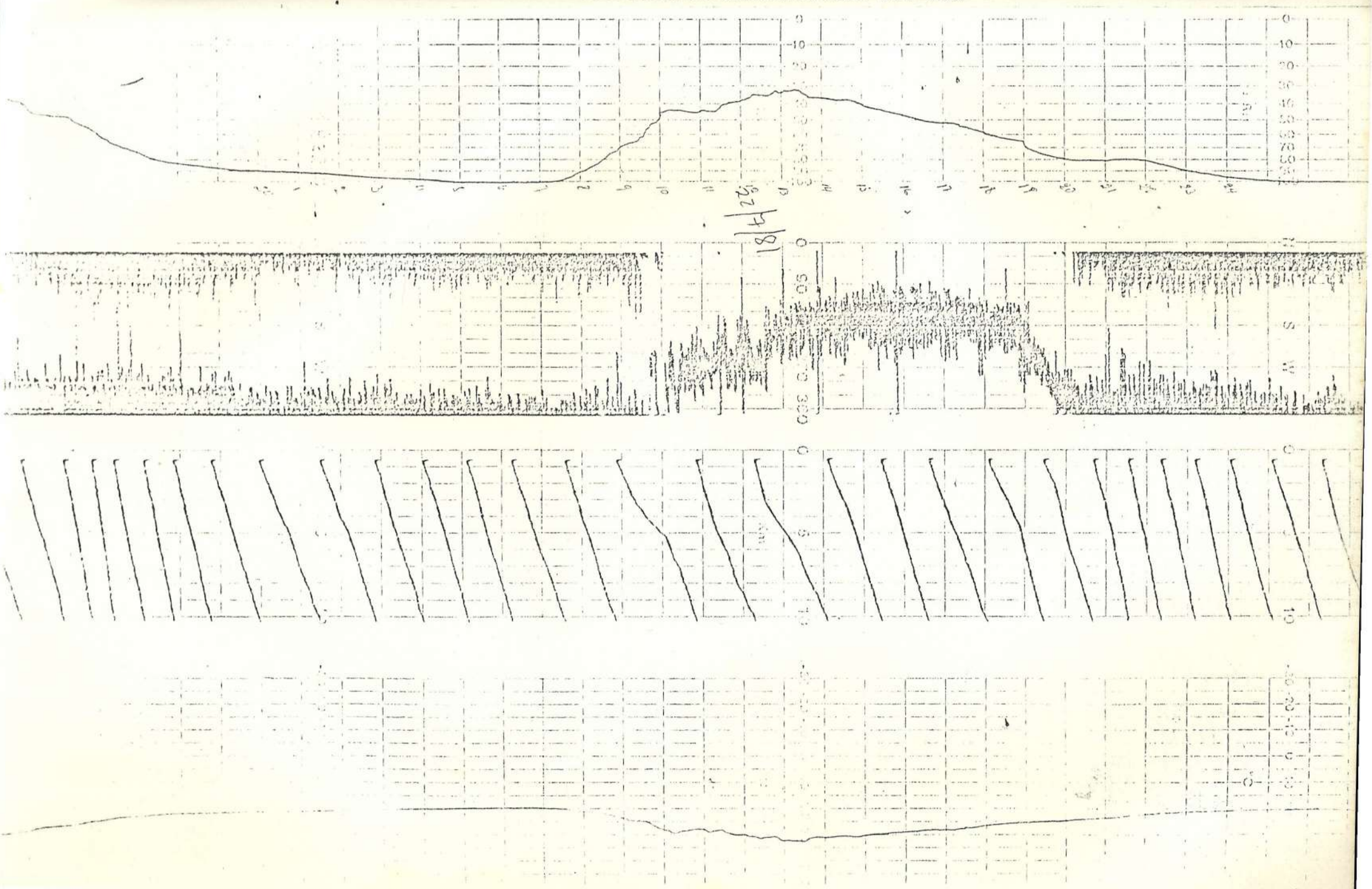
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



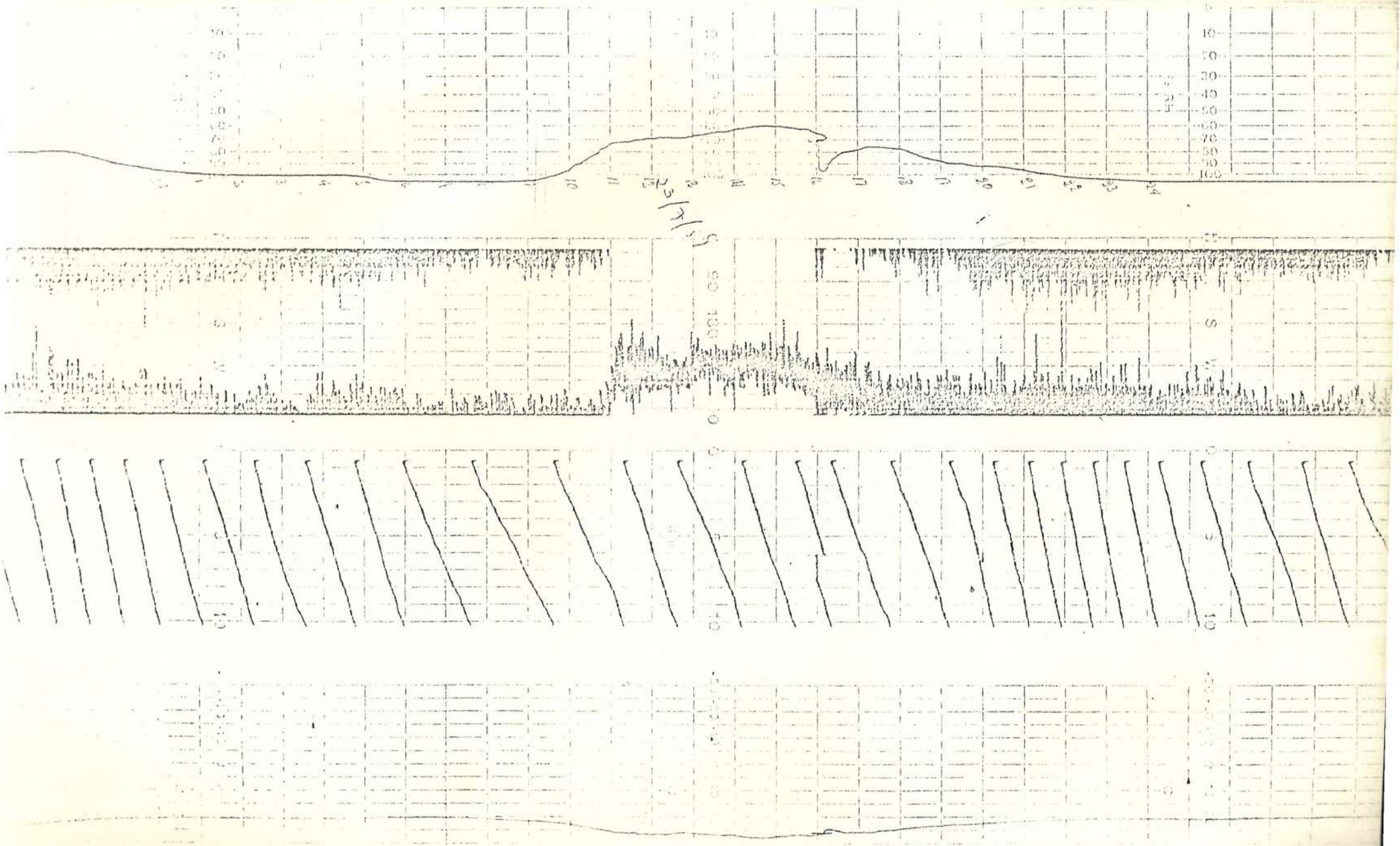
APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



APENDICE B III - Condiciones atmosféricas del día



APENDICE B IV

Tabla de conversión de unidades

Para convertir de	a	Multiplicar por
abamperio	amperio(A)	1.000 000 E+01
abcoulombio	coulombio(C)	1.000 000 E+01
abfaradio	faradio(F)	1.000 000 E+09
abhenry	henry(H)	1.000 000 E-09
abmho	siemens(S)	1.000 000 E+09
abohmio	ohmio(Ω)	1.000 000 E-09
abvoltio	voltio(V)	1.000 000 E-08
acre-pie	metro^3(m^3)	1.233 489 E+03
acre	metro^2(m^2)	4.046 873 E+03
amperio-hora	coulombio(C)	3.600 000 E+03
angstrom	metro(m)	1.000 000 E-10
área	metro^2(m^2)	1.000 000 E+02
atmósfera(normal)	pascal(Pa)	1.013 250 E+05
atmosfera(técnica=1 kg/cm^2)	pascal(Pa)	9.806 650 E+04
bar	pascal(Pa)	1.000 000 E+05
barn	metro^2(m^2)	1.000 000 E-28
barril	metro^3(m^3)	1.589 873 E-01
Btu	joule(J)	1.055 870 E+03
Btu/pie^2-hora	watio/metro^2(W/m^2)	3.152 481 E+00
Btu-pulg/hr-pie^2-°F(t. cond. térm.)	watio/metro-kelvin (W/m-K)	1.441 314 E-01

APENDICE B IV

Tabla de conversión de unidades

Para convertir de	a	Multiplicar por
bushel	metro³(m³)	3.523 907 E-02
caloria	joule(J)	4.184 000 E+00
caloria/segundo	watio(W)	4.184 000 E+00
centimetro de mercurio(0°C)-	pascal(Pa)	1.333 220 E+03
centimetro de agua(4°C)	pascal(Pa)	9.806 380 E+01
centipoise	pascal-segundo (P-s)	1.000 000 E-03
centistokes	metro²/segundo (m²/s)	1.000 000 E-06
chain(cadena de ingenieria)	metro(m)	3.048 000 E+01
chain(cadena gunter)	metro(m)	2.011 680 E+01
circular mil	metro²(m²)	5.067 075 E-10
cord	metro³(m³)	3.624 556 E+00
coulombio(internacional, C_{int-US})	coulombio(C)	9.998 430 E-01
coulombio (legal)	coulombio(C)	1.000 000 E+00
cup(taza)	metro³(m³)	2.365 882 E-04
curie	bequerel(Bq)	3.700 000 E+10
dia(solar)	segundo(s)	8.640 000 E+04
dia(sideral)	segundo(s)	8.616 409 E+04
degree(grado-ángulo)	radianes(rad)	1.745 329 E-02
degree(grado-Celsius)	kelvin(K)	$t_K=t'_C+273.15$
degree(grado-centigrado)	kelvin(K)	$t_K=t'_C+273.15$
degree(grado-Fahrenheit)	grado Celsius	$t'_C=(t'_F-32)/1.8$
degree(grado-Fahrenheit)	kelvin(K)	$t_K=(t'_F+459.67)/1.8$

APENDICE B IV

Tabla de conversión de unidades

Para convertir de	a	Multiplicar por
degree(grado)F-h-ft²/Btu (R, resistencia térmica)	kelvin-metro²/watio (K-m²/W)	1.762 280 E-01
degree(grado-Rankine)	kelvin(K)	$t_K=t°_R/1.8$
dram(avoirdupois)	kilogramo(kg)	1.771 845 E-03
dram(troy o aportecario)	kilogramo(kg)	3.887 934 E-03
dram(fluido)	kilogramo(kg)	3.696 691 E-06
dina	newton(N)	1.000 000 E-05
dina-centimetro	newton-metro(N-m)	1.000 000 E-07
dina-centimetro²	pascal(Pa)	1.000 000 E-01
electrón-voltio	joule(J)	1.602 190 E-19
EMU de capacitancia	faradio(F)	1.000 000 E+09
EMU de corriente	amperio(A)	1.000 000 E+01
EMU de potencial eléctrico	voltio(V)	1.000 000 E-08
EMU de inductancia	henry(H)	1.000 000 E-09
EMU de resistencia	ohmio(Ω)	1.000 000 E-09
ESU de capacitancia	farad(F)	1.112 650 E-12
ESU de corriente	amperio(A)	3.335 600 E-10
ESU de potencial eléctrico	voltio(V)	2.997 900 E+02
ESU de inductancia	henry(H)	8.987 554 E+11
ESU de resistencia	ohmio(Ω)	8.987 554 E+11
ergio	joule(J)	1.000 000 E-07
ergio/centimetro²-segundo	watio/metro²(W/m²)	1.000 000 E-03
ergio/segundo	watio(W)	1.000 000 E-07
faraday	coulomb(C)	9.652 190 E+04
fermi	metro(m)	1.000 000 E-15

APENDICE B IV

Tabla de conversión de unidades

Para convertir de	a	Multiplicar por
fluid ounce(onza fluida)	metro³(m³)	2.957 353 E-05
foot(pie)	metro(m)	3.048 000 E-01
foot³(pie³)	metro³(m³)	2.831 685 E-02
foot²(pie²)	metro²(m²)	9.290 304 E-02
foot(pie)/hora	metro/segundo(m/s)	8.466 667 E-05
foot²(pie²)/segundo	metro²/segundo(m²/s)	9.290 304 E-02
foot(pie)-libra-fuerza	joule(J)	1.355 818 E+00
foot(pie)-libra-fuerza/hora	watio(W)	3.766 161 E-04
ft²(pie²)/h(difusividad térmica)	metro²/segundo(m²/s)	2.580 640 E-05
galón(líquido)	metro³(m³)	3.785 412 E-03
grain(1/7000 lbm avoirdupois)	kilogramo(kg)	6.479 891 E-05
gramo-fuerza/centímetro²	pascal(Pa)	9.806 650 E+01
horsepower(caballo de fuerza, 550 ft-lbf/s)	watio(W)	7.456 999 E+02
horsepower-boiler(caballo vapor)	watio(W)	9.809 500 E+03
inch(pulgada)	metro(m)	2.540 000 E-02
inch²(pulgada²)	metro²(m²)	6.451 600 E-04
inch³(pulgada³)	metro³(m³)	1.638 706 E-05
inch(pulgada) de mercurio	pascal(Pa)	3.386 389 E+03
inch(pulgada) de agua	pascal(Pa)	2.490 820 E+02
inch(pulgada)/segundo²	metro/segundo²(m/s²)	2.540 000 E-02
kilocaloría/segundo	watio(W)	4.184 000 E+03
kilogramo-fuerza(kgf)	newton(N)	9.806 650 E+00
kilogramo-fuerza-seg.²/metro (masa)	kilogramo(kg)	9.806 650 E+00

APENDICE B IV

Tabla de conversión de unidades

Para convertir de	a	Multiplicar por
kilowatio-hora	joule(J)	3.600 000 E+06
micrón	metro(m)	1.000 000 E-06
onza-masa(avoirdupois)	kilogramo(kg)	2.834 952 E-02
pica(imprenta)	metro(m)	4.217 518 E-03
pinta(U.S.-seco)	metro^3(m^3)	5.506 105 E-04
pinta(U.S.-líquido)	metro^3(m^3)	4.731 765 E-04
punto(imprenta)	metro(m)	3.514 598 E-04
poise(viscosidad absoluta)	pascal-segundo(Pa-s)	1.000 000 E-01
poundal	newton(N)	1.382 550 E-01
poundal-pie^2	pascal(Pa)	1.488 164 E+00
poundal-segundo/pie^2	pascal-segundo(Pa-s)	1.488 164 E+00
pound(libra)-fuerza(lbf avoirdupois)	newton(N)	4.449 222 E+00
pound(libra)-fuerza-pulgada	newton-metro(N-m)	1.129 848 E-01
pound(libra)-fuerza-pie	newton-metro(N-m)	1.355 818 E+00
pound(libra)-fuerza/pulgada	newton/metro(N/m)	1.751 268 E+02
pound(libra)-fuerza/pie	newton/metro(N/m)	1.459 390 E+01
pound(libra)-fuerza/pie^2	pascal(Pa)	4.788 026 E+01
pound(libra)-fuerza/pulgada^2 (psi)	pascal(Pa)	6.894 757 E+03
pound(libra)-masa(lbm avoirdupois)	kilogramo(kg)	4.535 924 E-01
pound(libra)-masa-pie^2 (momento de inercia)	kilogramo-metro^2($kg-m^2$)	4.214 011 E-02
pound(libra)-masa-pulgada^2 (momento de inercia)	kilogramo-metro^2($kg-m^2$)	2.926 397 E-04
pound(libra)-masa/pie^3	kilogramo/metro^3(kg/m^3)	1.601 846 E+01

APENDICE B IV

Tabla de conversión de unidades

Para convertir de	a	Multiplicar por
pound(libra)-masa/pulgada^3	kilogramo/metro^3(kg/m^3)	2.767 990 E+04
pound(libra)-masa/galón (U.S. líquido)	kilogramo/metro^3(kg/m^3)	1.198 264 E+02
pound(libra)-masa/pie-segundo	pascal-segundo(Pa-s)	1.488 164 E+00
quart(cuarto)(U.S. seco)	metro^3(m^3)	1.101 221 E-03
quart(cuarto)(U.S. líquido)	metro^3(m^3)	9.463 529 E-04
rad(dosis de radiación absorbida)	joule/kilogramo(J/kg)	1.000 000 E-02
roentgen	coulombio/kilogramo (C/kg)	2.579 760 E-04
segundo(ángulo)	radian(rad)	4.848 137 E-06
segundo(sideral)	segundo(s)	9.972 696 E-01
stokes(viscosidad cinemática)	metro^2/segundo(m^2/s)	1.000 000 E-04
tonelada(long, 2240 lbm)	kilogramo(kg)	1.016 047 E+03
tonelada(métrica)	kilogramo(kg)	1.000 000 E+03
tone(nuclear equivalente del TNT)	joule(J)	4.200 000 E+09
tonelada(corta, 2000 lbm)	kilogramo(kg)	9.071 847 E+02
tonelada(corta, masa)/hora	kilogramo/segundo(kg/s)	2.519 958 E-01
tonelada(long, masa)/yarda^3	kilogramo/metro^3(kg/m^3)	1.328 939 E+03
watio-hora	joule(J)	3.600 000 E+03
watio-segundo	joule(J)	1.000 000 E+00
yarda	metro(m)	9.144 000 E-01
yarda^2	metro^2(m^2)	8.361 274 E-01
yarda^3	metro^3(m^3)	7.645 549 E-01
yarda^3/minuto	metro^3/segundo(m^3/s)	1.274 258 E-02

APENDICE C

Datos estadísticos sobre exportaciones del Banco Central del Ecuador, período 1.973 - 1.980

PERMISOS DE EXPORTACION, POR PRODUCTOS PRINCIPALES(*)

(VALORES EN MILES DE DOLARES FOB)

Datos definitivos: 1973 - 1978

Datos provisionales: Enero - Febrero - Marzo, 1979

Años - Meses	TOTAL EXPORTACIONES	PRIMARIOS								
		TOTAL	Banano	Cacao	Café	Fibras de Abacá	Higuerilla	Madera	Piscícolas	Petróleo (1)
1973	486 900	433 677	109.418	26.704	66.773	1.674	8.681	6.462	16.955	192.111
1974	962 445	854 649	113 528	102.856	67 378	5.535	5.859	8.292	17.056	526.687
1975	897.218	812 738	142 433	42 284	64.340	5.698	2 332	9.500	24 518	516.030
1976	1.127 331	1 006 316	136 689	32 521	205.370	7 175	3 101	9 471	33 931	565.477
1977	1.191 565	897 998	138 333	58 687	156 572	6.466	285	9.327	35 439	484.067
1978	1.493 758	1 092 374	171.770	50 385	281 237	6 952	—	11.209	42 285	523.309(p)
1978										
Ene.-Mar.	338.500	248.326	40 689	11.851	73.668	1 835	—	2.149	7.267	108.984
Marzo	105 055	78 411	14.222	4.531	12.094	450	—	774	2.821	42 149
Abril	110.737	80.911	7.969	6.067	12.729	784	—	882	2.917	49.013
Mayo	110 161	77 141	14.155	2.930	11 829	712	—	1.071	4 044	42 027
Junio	132 433	98 422	17.565	3.577	22.312	508	—	878	5 868	47 373
Julio	133 062	106 327	21 834	3.572	31.128	305	—	894	5.199	43 112
Agosto	136.501	102 878	16.868	4.585	34 239	864	—	1.011	3.757	41 264
Setiembre	150 564	105.969	9.093	4.235	44 762	675	—	748	3.285	42.922
Octubre	125 812	88 200	16.705	5.788	20.090	514	—	1 007	3.098	40.711
Novmbre.	125.559	91 816	17.413	3.706	15 602	470	—	1.304	3.067	49 807
Diciembre	130.429	92.384	9.479	4.074	14.878	285	—	1 265	3.783	50.274
1979										
Ene.-Mar.	374.879	261.926	50 413	7 417	34 359	1 767	—	2 906	9.535	150.361
Enero	118 838	81.124	15 202	1 893	17 326	459	—	1.025	3.324	39.640
Febrero	104 829	68 497	11 958	1.004	8 662	511	—	1.060	3.127	40.305
Marzo	151.212	112 305	23 253	4.520	8 371	797	—	821	3 084	70.416

Años - Meses	INDUSTRIALIZADOS									
	TOTAL	Azúcar y Melazas	Elaborados de Cacao	Café Soluble	Elaborados Productos del Mar	Químicos y Farmacéuticos	Sombreros	Derivados de Petróleo (3)	Artículos Electro-Domésticos	Manufacturas de Metales
1973	53.223	13 716	8 885	651	7 398	4 263	2 925	2 064	727	435
1974	107 796	44 683	22 722	1 059	11 784	4 458	4 966	837	3 761	1 726
1975	84 460	16 404	28.377	1.063	12 316	3 254	6.526	890	2 751	1 269
1976	121 015	6 169	62 442	2 689	19 990	4.119	6 247	—	4 657	1 637
1977	293 567	11 018	185 680	3.568	37 513	3 859	6 387	17 999	3 756	2 231
1978	401.384	7 762	207.385	3.805	47 205	3 549	7.292	91 379(p)	7.043	2.612
1978										
Ene.-Mar.	90 174	—	48 343	484	13 475	1 013	1 542	18 348	910	324
Marzo	26 644	—	11 327	212	3 679	504	588	8 433	223	69
Abril	29 826	—	16 411	147	2 526	412	482	6.496	656	187
Mayo	33 020	—	17 186	37	3 785	356	814	8 125	352	234
Junio	34 011	—	19 202	395	2 590	188	603	8 256	462	426
Julio	26 735	—	15 116	543	1 957	288	528	6 482	252	166
Agosto	33 623	—	16 300	198	3 587	384	597	9 174	870	218
Setiembre	44 595	2.205	24 670	245	4 658	247	660	9.536	847	289
Octubre	37 612	1.509	19 073	294	4 403	363	694	7.976	727	178
Novmbre.	33 743	1.531	15 360	376	4 008	147	551	8.071	1 460	320
Diciembre	38 045	2 517	15 724	1 086	6 216	151	821	8 915	507	238
1979										
Ene.-Mar.	112.953	1 448	58 805	2 827	16 092	785	1 674	20.539	2 720	458
Enero	37.714	496	16 413	1 264	5.171	311	537	9.626	1 400	203
Febrero	36 332	—	20 836	1 155	4 086	221	631	6 601	613	87
Marzo	38.907	952	21.556	408	6 835	253	506	4 312	707	168

(1) Exportaciones de Petróleo Crudo realizadas únicamente por venta directa.

(2) Se incluye reexportaciones y desperdicios.

(3) A partir del año 1976, las exportaciones de derivados de petróleo corresponden a valores fob.

(*) Los Permisos de Exportación Concedidos son autorizaciones que concede el Banco Central para realizar una exportación que puede o no efectivizarse.

FUENTE: Banco Central del Ecuador

PERMISOS DE EXPORTACION, POR PRODUCTOS PRINCIPALES(*)

(VALORES EN MILES DE DOLARES FOB)

Datos definitivos: 1973 - 1978; Enero - Agosto, 1979

Datos provisionales: Septiembre - Otubre 1979

Años - Meses	TOTAL EXPORTACIONES	PRIMARIOS								
		TOTAL	Banano	Cacao	Café	Fibras de Abacá	Higuerilla	Madera	Piscicolas	Petróleo (1)
1973	486 900	433 677	109 418	26 704	66.773	1.674	8.681	6 462	16.955	192.111
1974	962 445	854 649	113 528	102 856	67 378	5.535	5 859	8.292	17.056	526 687
1975	897 218	812 738	142 433	42 284	64 340	5 698	2.332	9.500	24.518	516.030
1976	1 127 331	1.006 316	136 689	32 521	205 370	7 175	3 101	9.471	33.931	565 177
1977	1 191 565	897 998	138 333	58 687	156 572	6 466	285	9 327	35 439	484 067
1978	1.493.758	1.092.374	171.770	50.385	281.237	6 952	—	11.209	42.285	523.309(p)
1978										
Ene. - Oct.	1.237 770	908 174	144 878	42 605	250 757	6.197	—	8.640	35 435	415 228
Octubre	125 812	88 200	16.705	5 788	20.090	514	—	1.007	3.098	40 711
Novmbre.	125.559	91 816	17.413	3.706	15.602	470	—	1.304	3.067	49 807
Diciembre	130.429	92 384	9.479	4.074	14 878	285	—	1.265	3.783	58.274
1979										
Ene. - Oct.	1 623 465	1 217.765	170.516	33 658	181 801	5 619	—	11.115	52 297	750 743
Enero	120 028	83 456	15 737	1.893	19.177	459	—	1.050	3.862	39 640
Febrero	106 810	69.476	11 929	1.481	9.479	511	—	1.178	4.119	40 308
Marzo	172 970	128 117	24 697	5 206	11.650	797	—	838	4 876	79 494
Abril	130 473	94 896	10 701	5.271	8 678	416	—	1.452	2 625	65 139
Mayo	178 143	132 210	24.684	3 598	8 335	735	—	1.014	6 066	87.122
Junio	206 320	166 073	17 167	4 149	17 841	469	—	910	7 516	114 358
Julio	171 033	133 429	16 390	4 576	27 161	744	—	1.073	8 596	74.482
Agosto	191 566	147.972	21 797	3 145	30 191	369	—	1.020	8 978	79 858
Stbre.	181 644	139 606	15 357	2 643	42 370	558	—	1.174	3 693	72 944
Octubre	164.478	122 530	12.057	1.696	6.919	561	—	1.316	1.966	97.398

Años - Meses	INDUSTRIALIZADOS									
	TOTAL	Azúcar y Melazas	Elaborados de Cacao	Café Soluble	Elaborados Productos del Mar	Químicos y Farmacéuticos	Sombreros	Derivados de Petróleo (3)	Artículos Electro-Domésticos	Manufacturas de Metales
1973	53 223	13.716	8 885	651	7 398	4.263	2 925	2.064	727	435
1974	107 796	44 683	22 722	1 059	11 784	4 458	4 966	837	3.761	729
1975	84 480	16 404	28 377	1.063	12 316	3 254	6 526	890	2 751	1.790.
1976	121 015	6 169	62 442	2 689	19 990	4 119	6 247	—	4 657	1 637
1977	293 567	11 018	185 680	3 568	37 513	3 859	6 387	17 999	3 756	2 231
1978	401.384	7.762	207.385	3.805	47.205	3.549	7.292	91.379(p)	7.043	2.612
1978										
Ene. - Oct.	329 596	3 714	176 301	2 343	36 981	3 251	5.920	74 393	5.076	2 054
Octubre	37 612	1.509	19 073	294	4 403	363	694	7 976	727	178
Novmbre.	33 743	1.531	15.360	376	4 008	147	551	8 071	1.460	320
Diciembre	38.045	2.517	15 724	1.086	6 216	151	821	8.915	507	238
1979										
Ene. - Oct.	405 700	13 142	193 997	10 608	44 408	2.523	7 294	86 228	12 944	4.770
Enero	36.572	636	17.186	969	5 049	331	727	7.741	1.399	223
Febrero	37 334	448	21 636	1.155	4 128	278	756	6 601	613	87
Marzo	44 853	951	22.073	408	6 608	257	728	9 761	707	172
Abril	35 577	421	19 950	1.160	4 481	231	754	3 645	1 618	141
Mayo	45 933	2 826	22 242	1.325	3 152	254	735	10 952	1.235	779
Junio	40 247	334	18 375	1.016	3 733	266	1.048	9.819	1.853	587
Julio	37 604	—	16 038	901	3 016	253	931	12 722	149	363
Agosto	43 594	3 706	20.510	775	5 159	260	747	7.566	1 213	526
Sptbre.	42 038	2 244	18.936	831	5.036	240	779	7 544	2 897	512
Octubre	41.948	1.576	17.051	2.068	4 046	153	89	9.877	1.260	1.380

(*) Los Permisos de Exportación Concedidos son autorizaciones que concede el Banco Central para realizar una exportación que puede o no efectivizarse.

(1) Exportaciones de Petróleo Crudo realizadas unicamente por venta directa.

(3) A partir del año 1978, las exportaciones de derivados de petróleo corresponden a valores clf.

(2) Se incluye reexportaciones y desperdicios.

FUENTE: Banco Central del Ecuador.

PERMISOS DE EXPORTACION, POR PRODUCTOS PRINCIPALES(*)

(VALORES EN MILES DE DOLARES FOB)

Datos definitivos: 1973 - 1978; Enero - Agosto, 1979

Datos provisionales: Setiembre - Noviembre 15, 1979

Años - Meses	TOTAL EXPORTACIONES	PRIMARIOS									
		TOTAL	Banano	Cacao	Café	Fibras de Abacá	Higuerilla	Madera	Piscícolas	Petróleo (1)	
1973	486.900	433.677	109 418	26.704	66.773	1.674	8.681	6.462	16.955	192.111	4
1974	962.445	854 649	113 528	102 856	67.378	5.535	5.859	8.292	17 056	526.687	7
1975	897.218	812 738	142 433	42.284	64 340	5.698	2.332	9.500	24 518	516.030	5
1976	1 127 331	1 006 316	136 689	32.521	205.370	7.175	3.101	9 471	33.931	565.177	12
1977	1.191.565	897 998	138.333	58.687	156 572	6.466	285	9.327	35 439	484.067	8
1978	1.493.758	1.092.374	171.770	50.385	281.237	6 952	—	11.209	42.285	523.309(p)	5
1978											
Ene. - Nov. 15	1 307 787	961 371	157.282	43 615	260 066	6.197	—	9 156	36.277	443 894	4
Novmbre 15	70 017	53 197	12 404	1 010	9 309	—	—	516	842	28 666	
Novmbre.	125.559	91 816	17.413	3.706	15.602	470	—	1.304	3.067	49.807	
Diciembre	130.429	92.384	9.479	4.074	14 878	285	—	1.265	3.783	58.274	
1979											
Ene. - Nov. 15	1.714 054	1 291.547	177.266	34 962	194 107	6 281	—	11.555	55.325	798.264	13
Enero	120 028	83 456	15.737	1.893	19.177	459	—	1.050	3.862	39 640	1
Febrero	106 810	69.476	11.929	1.481	9 479	511	—	1.178	4.119	40.308	
Marzo	172.970	128 117	24.697	5.206	11 650	797	—	838	4 876	79 494	
Abril	130 473	94.896	10.701	5.271	8 678	416	—	1.452	2 625	65 139	
Mayo	178.143	132 210	24.684	3 593	8 335	735	—	1 014	6.066	87.122	
Junio	206 320	166 073	17.167	4.149	17 841	469	—	910	7 516	114.358	3
Julio	171.033	133 429	16 390	4 576	27 161	744	—	1.073	8 596	74.482	
Agosto	191 566	147.972	21.797	3 145	30 191	369	—	1.020	8 978	79 858	2
Stbre.	181 644	139 606	15.357	2.643	42.370	558	—	1.174	3.693	72 944	
Octubre	164 478	122 530	12 057	1 696	6 919	561	—	1.316	1 966	97.398	
Novmbre 15	90 589	73.782	6.750	1 304	12.306	662	—	530	3.028	47.521	1

	INDUSTRIALIZADOS									
	TOTAL	Azúcar y Melazas	Elaborados de Cacao	Café Soluble	Elaborados Productos del Mar	Químicos y Farmacéuticos	Sombreros	Derivados de Petróleo (3)	Artículos Electro-Domésticos	Manufacturas de Metales	
1973	53 223	13 716	8 885	651	7 398	4 263	2 925	2 064	727	435	12
1974	107 796	44 683	22 722	1 059	11 784	4 458	4 966	837	3 761	729	12
1975	84 480	16.404	28 377	1 063	12 316	3 254	6 526	890	2 751	1 790	11
1976	121 015	6.169	62 442	2 689	19 990	4 119	6 247	—	4 657	1 637	13
1977	293 567	11.018	185 680	3 568	37.513	3 859	6 387	17 999	3 756	2 231	21
1978	401 384	7.762	207.385	3.805	47 205	3 549	7.292	91 379(p)	7.043	2.612	23
1978											
Ene. - Nov. 15	346 416	4 825	183 771	2 577	38 792	3 257	6 115	78 746	5 708	2.181	20
Novmbre 15	16 820	1 111	7 470	234	1 811	6	195	4 353	632	127	
Novmbre.	33 743	1.531	15.360	376	4.008	147	551	8.071	1.460	320	1
Diciembre	38 045	2.517	15 724	1 086	6 216	151	821	8 915	507	238	1
1979											
Ene. - Nov. 15	422 507	13 142	200.403	11 290	45 555	2.694	7 339	92 241	13 894	4 933	31
Enero	36.572	636	17.186	969	5 049	331	727	7.741	1.399	223	2
Febrero	37 334	448	21 636	1.155	4 128	278	756	6.601	613	87	1
Marzo	44 853	951	22.073	408	6 608	257	728	9 761	707	172	3
Abril	35 577	421	19 950	1.160	4 481	231	754	3 645	1 618	141	3
Mayo	45 933	2 826	22 242	1.325	3 152	254	735	10.952	1 235	779	2
Junio	40 247	334	18 375	1 016	3.733	266	1 048	9.819	1 853	587	3
Julio	37 604	—	16 038	901	3 016	253	931	12.722	149	363	3
Agosto	43 594	3 706	20.510	775	5 159	260	747	7.566	1 213	526	3
Stbre.	42 038	2 244	18 936	831	5 036	240	779	7 544	2 897	512	3
Octubre	41 948	1.576	17 051	2 068	4 045	153	89	9.877	1.260	1.380	4
Novmbre 15	16.807	—	6 406	682	1 147	171	45	6 013	950	163	1

(*) Los Permisos de Exportación Concedidos son autorizaciones que concede el Banco Central para realizar una exportación que puede o no efectivizarse.

(1) Exportaciones de Petróleo Crudo realizadas unicamente por venta directa.

(3) A partir del año 1978, las exportaciones de derivados de petróleo corresponden a valores cif.

(2) Se incluye reexportaciones y desperdicios.

FUENTE: Banco Central del Ecuador.

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR

PERMISOS DE EXPORTACION, POR PRODUCTOS PRINCIPALES (*)

(VALORES EN MILES DE DOLARES FOB)

Datos definitivos: 1975—1980; Enero—1.981

Datos provisionales: Febrero—1.981

AÑOS MESES	TOTAL Exportaciones	PRIMARIOS									
		TOTAL	Banano	Cacao	Café	Fibras de Abacá	Hojas de té	Madera	Piscícolas	Petróleo (1)	O
1975	897.218	812.738	*142.433*	*42.284*	*64.340*	*5.698*	*782*	*9.500*	*24.518*	*516.030*	*7*
1976	1.127.331	1.006.316	*136.689*	*32.521*	*205.370*	*7.175*	*612*	*9.471*	*33.931*	*565.177*	*1*
1977	1.191.565	897.998	*138.333*	*58.687*	*156.572*	*6.466*	*953*	*9.327*	*35.439*	*484.067*	*8*
1978	1.493.758	1.092.374	*171.770*	*50.385*	*281.237*	*6.952*	*848*	*11.209*	*42.285*	*523.309*	*4*
1979	2.172.703	1.634.559	*200.120*	*42.280*	*263.146*	*6.892*	*1.534*	*13.201*	*63.076*	*1.031.973*	*12*
1980 (r)	2.393.648	1.791.342	*237.080*	*30.465*	*130.434*	*9.375*	*1.551*	*13.734*	*65.928*	*1.294.216*	*8*
1980											
Ene.-Feb.	430.666	315.868	38.197	5.864	28.168	1.737	372	2.094	7.787	230.169	1
Febrero	192.976	130.451	*17.959*	*2.501*	*7.642*	*1.345*	*108*	*1.145*	*3.339*	*95.580*	
Marzo	185.961	135.302	*18.789*	*4.098*	*13.355*	*433*	*144*	*1.049*	*4.121*	*92.269*	*1*
Abril	183.901	137.435	*17.921*	*1.378*	*2.096*	*1.077*	*139*	*1.097*	*3.874*	*109.376*	
Mayo	253.933	192.255	*27.837*	*2.721*	*3.072*	*1.055*	*132*	*1.254*	*4.964*	*150.746*	
Junio	172.122	129.820	*25.895*	*2.368*	*4.889*	*1.271*	*95*	*1.411*	*7.928*	*85.520*	
Julio	151.533	109.610	*15.944*	*3.180*	*3.882*	*199*	*134*	*959*	*6.021*	*78.624*	
Agosto	201.744	161.617	*12.717*	*3.102*	*12.717*	*1.147*	*91*	*1.337*	*5.786*	*124.364*	
Septbre.	154.199	108.088	*22.209*	*2.563*	*18.780*	*935*	*13*	*1.469*	*7.067*	*54.263*	
Octubre	232.237	179.906	*20.120*	*2.327*	*20.945*	*867*	*117*	*1.018*	*8.792*	*125.074*	
Novbre.	225.323	173.974	*21.921*	*1.561*	*16.999*	*450*	*176*	*647*	*4.986*	*125.957*	*1*
Dic.	202.029	147.467	*15.530*	*1.303*	*5.531*	*204*	*138*	*1.399*	*4.602*	*117.854*	
1981											
Ene.-Feb.	370.987	276.483	31.595	2.768	18.692	1.651	39	1.873	9.643	204.404	5
Enero	208.583	157.950	*14.842*	*1.877*	*13.384*	*1.529*	*39*	*963*	*3.080*	*117.006*	*5*
Febrero	162.404	118.533	*16.753*	*891*	*5.308*	*122*	—	*910*	*6.563*	*87.398*	

AÑOS MESES	INDUSTRIALIZADOS										
	TOTAL	Azúcar y Melazas	Elaborados de Cacao	Café Soluble	Elaborados Productos del Mar	Químicos y Farmacéuticos	Sombreros	Derivados de Petróleo	Artículos Electrodomésticos	Manufacturas de Metales	C
1975	84.480	*16.404*	*28.377*	*1.06?*	*12.316*	*3.254*	*6.526*	*890*	*2.751*	*1.790*	*11*
1976	121.015	*6.169*	*62.442*	*2.689*	*19.990*	*4.119*	*6.247*	—	*4.657*	*1.637*	*13*
1977	293.567	*11.018*	*185.680*	*3.568*	*37.513*	*3.859*	*6.387*	*17.999*	*3.756*	*2.231*	*21*
1978	401.384	*7.762*	*207.385*	*3.805*	*47.205*	*3.549*	*7.292*	*91.379*	*7.043*	*2.612*	*23*
1979	538.144	*16.007*	*234.015*	*13.012*	*59.524*	*4.126*	*9.684*	*145.418*	*14.746*	*5.891*	*38*
1980 (r)	602.306	*48.018*	*180.666*	*13.695*	*89.942*	*4.559*	*9.500*	*179.776*	*17.902*	*9.219*	*49*
1980											
Ene.-Feb.	114.798	3.521	39.938	1.874	17.925	581	1.781	39.638	2.661	1.307	
Febrero	62.525	*3.007*	*22.251*	*609*	*9.933*	*262*	*861*	*20.686*	*1.501*	*779*	
Marzo	50.659	*5.249*	*20.327*	*1.078*	*7.695*	*404*	*653*	*10.022*	*82*	*870*	
Abril	46.466	*986*	*21.679*	*779*	*6.049*	*280*	*858*	*7.473*	*2.216*	*940*	
Mayo	61.678	*7.354*	*16.896*	*2.364*	*7.892*	*389*	*734*	*21.522*	*505*	*682*	
Junio	42.302	*2.130*	*17.632*	*922*	*6.085*	*441*	*1.054*	*7.594*	*1.347*	*795*	
Julio	41.923	—	*11.773*	*1.042*	*5.412*	*339*	*1.030*	*15.584*	*2.195*	*1.111*	
Agosto	40.127	—	*13.043*	*1.677*	*6.167*	*408*	*980*	*12.839*	*1.192*	*743*	
Sptbre.	46.111	*5.387*	*9.274*	*1.135*	*7.064*	*347*	*552*	*14.465*	*2.412*	*907*	
Octubre	52.331	*9.790*	*11.558*	*839*	*8.581*	*516*	*724*	*12.051*	*1.489*	*702*	
Novbre	51.349	*12.076*	*9.122*	*1.397*	*8.758*	*199*	*564*	*12.345*	*1.641*	*479*	
Dic.	54.562	*1.525*	*9.424*	*588*	*8.314*	*655*	*570*	*26.243*	*2.162*	*683*	
1981											
Ene.—Feb.	94.504	4.727	18.877	2.923	19.173	928	1.627	34.391	2.185	616	
Enero	50.633	*3.408*	*9.253*	*2.413*	*10.849*	*542*	*984*	*16.609*	*1.409*	*275*	
Febrero	43.871	*1.319*	*9.634*	*510*	*8.324*	*386*	*643*	*17.782*	*776*	*341*	

(r) *Cifras revisadas.*

(*) *Los permisos de Exportación Concedidos son autorizaciones que otorga el Banco Central para realizar una exportación que puede o no efectuarse.*

(1) *A partir de 1979 las exportaciones de petróleo crudo incluyen las realizadas por ventas directas, regalías y compensación; y, desde el año 1978, las derivados de petróleo corresponden a valores CIF, para 1978, en general la información de petróleo está sujeta a revisión.*

(2) *Incluyen reexportaciones y desperdicios.*

FUENTE: *Banco Central del Ecuador.*

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR

PERMISOS DE EXPORTACION, POR PRODUCTOS PRINCIPALES (*)

(VALORES EN MILES DE DOLARES FOB)

Datos definitivos: 1975—1980; Enero—1.981

Datos provisionales: Febrero—Marzo 15, 1981

AÑOS MESES	TOTAL Exportaciones	PRIMARIOS									
		TOTAL	Banano	Cacao	Café	Fibras de Abacá	Hojas de té	Madera	Piscícolas	Petróleo (1)	O
1975	897.218	812.738	*142.433*	*42.284*	*64.340*	*5.698*	*782*	*9.500*	*24.518*	*516.030*	*7*
1976	1.127.331	1.006.316	*136.689*	*32.521*	*205.370*	*7.175*	*612*	*9.471*	*33.931*	*565.177*	*15*
1977	1.191.565	897.998	*138.333*	*58.687*	*156.572*	*6.466*	*953*	*9.327*	*35.439*	*484.067*	*8*
1978	1.493.758	1.092.374	*171.770*	*50.385*	*281.237*	*6.952*	*848*	*11.209*	*42.285*	*523.309*	*4*
1979	2.172.703	1.634.559	*200.120*	*42.280*	*263.146*	*6.892*	*1.534*	*13.201*	*63.076*	*1.031.973*	*12*
1980 (r)	2.393.648	1.791.342	*237.080*	*30.465*	*130.434*	*9.375*	*1.551*	*13.734*	*65.928*	*1.294.210*	*8*
1980											
Ene.-Mar. 15	537.853	394.928	43.735	8.084	30.980	2.015	372	2.205	8.931	295.671	2
Marzo 15.	107.187	79.060	*5.538*	*2.220*	*2.812*	*278*	—	*111*	*1.144*	*65.502*	*1*
Marzo.	185.961	135.302	*18.789*	*4.098*	*13.355*	*433*	*144*	*1.049*	*4.121*	*92.269*	*1*
Abril	183.901	137.435	*17.921*	*1.378*	*2.096*	*1.077*	*139*	*1.097*	*3.874*	*109.376*	
Mayo	253.933	192.255	*27.837*	*2.721*	*3.072*	*1.055*	*132*	*1.254*	*4.964*	*150.746*	
Junio	172.122	129.820	*25.895*	*2.368*	*4.889*	*1.271*	*95*	*1.411*	*7.928*	*85.520*	
Julio	151.533	109.610	*15.944*	*3.180*	*3.882*	*199*	*134*	*959*	*6.021*	*78.624*	
Agosto	201.744	161.617	*12.717*	*3.102*	*12.717*	*1.147*	*91*	*1.337*	*5.786*	*124.364*	
Septbre.	154.199	108.088	*22.209*	*2.563*	*18.780*	*935*	*13*	*1.469*	*7.067*	*54.263*	
Octubre	232.237	179.906	*20.120*	*2.327*	*20.945*	*867*	*117*	*1.018*	*8.792*	*125.074*	
Novbre.	225.323	173.974	*21.921*	*1.561*	*16.999*	*450*	*176*	*647*	*4.986*	*125.957*	*1*
Dic.	202.029	147.467	*15.530*	*1.303*	*5.531*	*204*	*138*	*1.399*	*4.602*	*117.854*	
1981											
Ene.-Mar.15	444.741	336.152	42.003	5.322	21.799	1.890	39	1.978	12.459	244.718	5
Enero.	208.583	157.950	*14.842*	*1.877*	*13.384*	*1.529*	*39*	*963*	*3.080*	*117.006*	*5*
Febrero	162.404	118.533	*16.753*	*891*	*5.308*	*122*	—	*910*	*6.565*	*87.398*	
Marzo 15.	73.754	59.669	*10.408*	*2.554*	*3.107*	*239*	—	*105*	*2.816*	*40.314*	

AÑOS MESES	INDUSTRIALIZADOS										
	TOTAL	Azúcar y Melazas	Elaborados de Cacao	Café Soluble	Elaborados Productos del Mar	Químicos y Farmacéuticos	Sombreros	Derivados de Petróleo	Artículos Electrodomésticos	Manufacturas de Metales	O
1975	84.480	*16.404*	*28.377*	*1.063*	*12.316*	*3.254*	*6.526*	*890*	*2.751*	*1.790*	*1*
1976	121.015	*6.169*	*62.442*	*2.689*	*19.990*	*4.119*	*6.247*	—	*4.657*	*1.637*	*1*
1977	293.567	*11.018*	*185.680*	*3.568*	*37.513*	*3.859*	*6.387*	*17.999*	*3.756*	*2.231*	*2*
1978	401.384	*7.762*	*207.385*	*3.805*	*47.205*	*3.549*	*7.292*	*91.379*	*7.043*	*2.612*	*2*
1979	538.144	*16.007*	*234.015*	*13.012*	*59.524*	*4.126*	*9.684*	*145.418*	*14.746*	*5.891*	*3*
1980 (r)	602.306	*48.018*	*180.666*	*13.695*	*89.942*	*4.559*	*9.500*	*179.776*	*17.902*	*9.219*	*4*
1980											
Ene.-Mar. 15.	142.925	8.418	51.258	2.344	22.021	681	2.059	44.883	2.743	1.612	
Marzo 15.	28.127	*4.897*	*11.320*	*470*	*4.096*	*100*	*278*	*5.245*	*82*	*305*	
Marzo	50.659	*5.249*	*20.327*	*1.078*	*7.695*	*404*	*653*	*10.022*	*82*	*870*	
Abril	46.466	*986*	*21.679*	*779*	*6.049*	*280*	*858*	*7.473*	*2.216*	*940*	
Mayo	61.678	*7.354*	*16.896*	*2.364*	*7.892*	*389*	*734*	*21.522*	*505*	*682*	
Junio	42.302	*2.130*	*17.632*	*922*	*6.085*	*441*	*1.054*	*7.594*	*1.347*	*795*	
Julio	41.923	—	*11.773*	*1.042*	*5.412*	*339*	*1.030*	*15.584*	*2.195*	*1.111*	
Agosto	40.127	—	*13.043*	*1.677*	*6.167*	*408*	*980*	*12.839*	*1.192*	*743*	
Sptbre	46.111	*5.387*	*9.274*	*1.135*	*7.064*	*347*	*552*	*14.465*	*2.412*	*907*	
Octubre	52.331	*9.790*	*11.558*	*839*	*8.581*	*516*	*724*	*12.051*	*1.489*	*702*	
Novbre	51.349	*12.076*	*9.122*	*1.397*	*8.758*	*199*	*564*	*12.345*	*1.641*	*479*	
Dcbre.	54.562	*1.525*	*9.424*	*588*	*8.314*	*655*	*570*	*26.243*	*2.162*	*683*	
1981											
Ene.-Mar.15	108.589	4.727	21.829	4.579	25.115	939	1.779	34.391	2.640	781	
Enero	50.633	*3.408*	*9.253*	*2.413*	*10.849*	*542*	*984*	*16.609*	*1.409*	*275*	
Febrero	43.871	*1.319*	*9.634*	*510*	*8.324*	*386*	*643*	*17.782*	*776*	*341*	
Marzo 15.	14.085	—	*2.942*	*1.656*	*5.942*	*11*	*152*	*n.d.*	*455*	*165*	

(r) *Cifras revisadas.*

(*) *Los permisos de Exportación Concedidos son autorizaciones que otorga el Banco Central para realizar una exportación que puede o no efectivarse*

(1) *A partir de 1979 las exportaciones de petróleo crudo incluyen las realizadas por ventas directas, regalías y compensación; y, desde el año 1978, las derivados de petróleo corresponden a valores CIF, para 1978, en general la información de petróleo está sujeta a revisión.*

(2) *Incluyen reexportaciones y despedicios.*

FUENTE: *Banco Central del Ecuador.*

B I B L I O G R A F I A

1 BEVILL, V. D. y BRANDT, H., "A solar energy collector for heating air", Solar Energy magaz., Vol 12, págs. 19-29.

2 CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of air conditioning system design", 4a. Edición, 1.965.

3 DIXON, J. R., "Diseño en ingeiería", la. Edición en español, 1.965.

4 FAIRES, V. M., "Termodinámica", 2a. Edición en español, 1.970.

5 KREITH, F., "Principios de transferencia de calor", la. Edición en español, 1.970.

6 KREITH, F. y KREIDER, J. F., "Principles of solar engineering", la. Edición, 1.978.

7 MARKS, "Mechanical engineers handbook", 8a. Edición, 1.978.

8 PAUL, J. K., "Solar heating and cooling, recent advances", la. Edición, 1.977.

9 SALVAT EDITORES S.A., "Enciclopedia Salvat", la. Edición, 1.972.

10 STREETER, V. L., "Mecánica de los fluídos", la. Edición en español, 1.968.